脑与学习科学新视野译丛

董 奇/主编 周加仙/副主编

人脑的教育

EDUCATING THE HUMAIN BRAIN

◎ [美] 迈克尔·I.波斯纳 玛丽·K.罗特巴特/著

◎ 北京师范大学认知神经科学与学习
国家重点实验室脑科学与教育应用研究中心/组织翻译

◎ 周加仙 等/译

教育科学出版社
ESPH Educational Science Publishing House

脑与学习科学新视野译丛

董　奇／主编　周加仙／副主编

人脑的教育

EDUCATING THE HUMAIN BRAIN

教育科学出版社
·北　京·

责任编辑　周益群
版式设计　贾艳凤
责任校对　曲凤玲
责任印制　曲凤玲

图书在版编目（CIP）数据

人脑的教育/（美）波斯纳，（美）罗特巴特著；周加仙等译. —北京：教育科学出版社，2011. 1
（脑与学习科学新视野译丛/董奇主编）
书名原文：Educating the Human Brain
ISBN 978-7-5041-5132-2

Ⅰ. ①人…　Ⅱ. ①波…　②罗…　③周…　Ⅲ. ①脑科学—研究　Ⅳ. ①R338. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 138638 号

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2007-4650 号

出版发行	教育科学出版社		
社　址	北京·朝阳区安慧北里安园甲 9 号	市场部电话	010-64989009
邮　编	100101	编辑部电话	010-64989421
传　真	010-64891796	网　址	http://www.esph.com.cn

经　销	各地新华书店		
制　作	北京鑫华印前科技有限公司		
印　刷	保定市中画美凯印刷有限公司	版　次	2011 年 1 月第 1 版
开　本	169 毫米×239 毫米　16 开	印　次	2011 年 1 月第 1 次印刷
印　张	16. 25	印　数	1—3 000 册
字　数	273 千	定　价	38. 00 元

译丛总序

人脑是世界上最复杂的物质系统，它所具有的学习功能是其他一切生物无法比拟的。在人类学习的研究中，由于研究方法与手段的局限性，无论是古代东西方对学习的思辨，还是近现代流派纷呈的学习理论，都回避了对学习的器官——脑的探索，使学习的研究停留在外显的行为以及对内部心理机制的推测上。

随着脑科学的迅猛发展以及研究方法与工具的进步，人们日益重视脑、认知与学习之间的关系。学习科学研究者将真实情境中的学习作为研究对象，运用科学的研究方法，来理解人类学习过程中的认知活动及其神经机制，探讨学习、认知与发展的过程与本质。学习作为人类极其复杂的现象，只有整合不同学科的视野才能对其有完整、科学的认识，因此学习科学是多学科、跨学科的研究领域。

最先用科学的方法来研究脑与学习关系的是诞生于20世纪50年代中期的认知科学。认知科学是研究人、动物和机器的智能本质和规律的科学，研究内容包括知觉、学习、记忆、推理、语言理解、知识获得、注意、情感等统称为意识的高级心理现象。认知科学从诞生之日起，就从多学科的视角来研究学习。到20世纪70年代，认知科学家开始研究人类是怎样解决问题的，关注数学、科学、阅读和写作等学校教育教学中涉及的重要问题。他们发现专家与新手采用不同的方式来解决各种学习领域中的问题，认为专家与新手的区别是理解学习的第一步，“学习就是新手变为专家的过程”①，追踪这一过程中的思维变化可以研究学习的产生。20世纪90年代以后，认知科学转变了脱离学习情

① Bruer, J. B. 1993, Schools for Thought: A Science of Learning in the Classroom. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, p. 2.

境、关注静态知识的实验室研究方式，转而重视学习者的思维与求知过程。认知科学对表征、专家知识、问题解决和思维等的研究，成为学习科学的核心概念。经过20余年的发展，《学习科学杂志》于1991年创刊。2002年“国际学习科学协会”（The International Society of the Learning Sciences）成立。目前美国的西北大学、斯坦福大学等许多著名大学都设立了学习科学专业，从认知科学的角度来探究学生的学习。

在认知科学发展的同时，与此相关的另一门新兴学科也在形成之中。美国心理学家George Miller于20世纪70年代提出了“认知神经科学”一词，率先将脑科学和认知科学结合起来。在90年代“脑的十年”里，随着脑成像技术的发展以及Michael S. Gazzaniga、George Miller、Michael I. Posner等一批认知神经科学家卓有成效的研究，认知神经科学迅速发展起来。认知神经科学的研究任务在于阐明自我意识、思维想象和语言等人类认知活动的神经机制，研究脑是如何调用各层次上的组件，包括分子、细胞、脑组织区和全脑去实现自己的认知活动的。① 教育与认知神经科学结合起来的研究已成为当前国际上备受关注的新兴研究领域。1999年经济合作与发展组织启动了“学习科学与脑科学研究”项目，目的是在教育研究人员、教育决策专家和脑科学研究人员之间建立起密切的合作关系，通过跨学科的合作研究来探明与学习有关的脑活动，从而更深入地理解个体生命历程中的学习过程。2003年11月，“国际心智、脑与教育协会”成立，标志着科学界与教育界更加紧密地合作起来，共同研究人类学习与学习科学。

目前，许多国家的政府都采取了一系列重要措施，大力支持脑与学习科学的研究与应用工作，并将它作为国家科技与教育发展的重要议程。新世纪伊始，美国国家科学基金会就积极酝酿筹办学习科学研究中心以及学习科学孵化中心。从2003年起，美国国家科学基金将投入约1亿美元，正式建立6个学习科学中心以及若干个学习科学孵化中心。这些学习科学中心分别从生物、认知、计算机、数学、物理、社会科学、工程以及教育等多种学科交叉的角度来研究学习，甚至还涉及机器学习、学习技术以及所有有关学习的数学分析与模型的研究。日本政府也非常重视脑科学与教育的研究，日本文部科学省于2003年元旦启动了庞大的“脑科学与教育”研究项目。2004年，欧洲启动了由8个不同国家的实验室共同合作的研究项目“计算技能与脑发育”项目，研究计算能力的脑机制，并将研究成果运用于数学教育。这些研究组织与机构的创

① Gazzaniga，M. S.：《认知神经科学》，沈政等译，上海教育出版社，1998年。

立表明，无论在北美洲、欧洲，还是在亚洲，全方位、多层面的学习科学研究已经蓬勃地开展起来。

我国对学习的研究已有悠久的历史。在古代，人们把“学习”看作是包含“学”与“习”两个独立环节的过程。“学”是指人获得直接与间接经验的认识活动，兼有思的含义；“习”是指巩固知识、技能等实践活动，兼有行的意思。① 最早将“学”与“习”联系起来强调“学”与“习”之间内在联系的是孔子，他说：“学而时习之，不亦说（悦）乎！”（《论语·学而》）又说：“学而不思则罔，思而不学则殆。”（《论语·为政》）说明“学”是“习”的基础与前提，“习”是“学”的巩固与深化，在学习的过程中可以感受到愉悦的情绪体验，揭示了学习、练习、情绪、思维之间的关系。由此可见，我国古代把学习看作是学、思、习、行、情的总称，对学习的这种探讨已经触及了一个重要的科学研究问题：学习过程中认知、情绪、行为三者之间的统一关系。

20 世纪初期与中期，我国有一些学者出版了有关学习的论著，如杨贤江撰写的《学习法概论》(1923)、周冰原撰写的《学习观点与学习方法》(1950) 等。经过多年的发展，20 世纪 70 年代末到 80 年代初，开始形成了学习学的理论与实践研究，并出版了大量专著，学习学的研究在全国展开。1987 年 6 月，在南京召开的“全国第一届学习科学讨论暨讲习班”成为学习学研究历史上的一次重要会议。此后，全国学习学专业机构纷纷成立，并多次举办了全国性的学习学会议。学习学的理论与实践研究也有了新的进展。但是，目前学习学的研究仍然停留于行为研究与思辨层面，关注较多的是学生的学习心理研究、学习规律的观察与总结、学习经验的交流、学习方法的指导等方面，而对脑与学习的关系则探讨较少。

20 世纪 90 年代中后期，在当时国务院科技领导小组、国家科技部、教育部、自然科学基金委的支持下，我国开始重视脑科学与教育的研究，并多次举行专题研讨会。以脑科学研究为基础的学习科学才逐渐受到关注，并成立了专门的研究机构。2000 年，教育部在北京师范大学建立了认知科学与学习教育部重点实验室；2002 年，韦钰院士在东南大学发起成立了学习科学研究中心；2005 年，国家科技部在北京师范大学成立了“认知神经科学与学习”国家重点实验室；关注脑的学习功能与生理机制的学习科学研究受到了重视。

---

① 桑新民：《学习究竟是什么？——多学科视野中的学习研究论纲》，《开放教育研究》第 11 卷第 1 期，2005 年 2 月，第 8-9 页。

北京师范大学“认知神经科学与学习”国家重点实验室的主要目标是研究人类学习的脑机制，并将研究成果运用于学校的教育教学与学生的心理健康发展。我们从认知科学、认知神经科学的角度，围绕“学习与脑可塑性”这一核心问题，研究学习的一般机制和特殊规律，已经在认知能力的发展与促进，社会认知、行为的心理与神经机制，认知障碍，英语、汉语以及汉英双语表征的神经机制与学习方面取得了许多研究进展和突破。我本人也主持了国家攀登项目、国家杰出青年基金项目、科技部国际合作重点项目、教育部人文社科重大项目等重要课题，组织北京师范大学和国内外有关专家从多学科角度进行联合攻关，在脑与学习科学的研究方面取得了许多有价值的成果。

近年来，在各国的重视下，脑科学已经开始运用于教育，其取得的初步成果和出现的问题，对我国开展该方面的工作均有重要参考、借鉴意义。为此，我们决定组织“脑与学习科学新视野”译丛，根据我国学习科学研究与学校教育的需要，选择国际学习科学研究中最权威、最重要的研究成果介绍给教育科学工作者、决策者与实践者，尤其是有志于从事脑与学习科学研究的工作者。译丛中的书籍分别从认知科学和认知神经科学的角度来阐明学习科学。有些书籍是不同国际组织召集国际上资深科学家研讨而成；有些书籍勾勒出脑与学习科学的具体研究框架；有些书籍让大家了解脑与学习科学的最新研究进展。因此，本译丛最大的一个特点在于，其作者均为脑与学习科学研究领域的国际著名专家或者相关国际研究组织，这些书籍也都由国际知名出版社出版发行。原书作者的许多见解有助于我们更好地把握国际脑与学习科学发展的趋势与存在的争论，有助于促进我国脑与学习科学的研究工作。

值此译丛出版之际，我要对译丛中各著作的原作者和出版社表示谢意；我还要感谢教育科学出版社的同志细致、耐心的工作；感谢参与本译丛翻译的老师和研究生们所付出的辛勤劳动。同时，我还要借此机会感谢国务院科技领导小组、国家科技部、教育部、自然科学基金委长期以来对脑与认知神经科学方面基础研究和应用研究的大力支持。

我希望本套译丛将对我国脑与学习科学的研究以及学习科学研究人员的培养有积极的启示与帮助；我也希望本套译丛将对我国的教育决策、教育研究范式的改革、课程与教学设计带来有益的启示。

董　奇
2009年10月26日
于北京师范大学

前　言

几个世纪以来，家长、哲学家、心理学家和教育家始终在探寻关于儿童学习的问题。以往探讨有关学习的诸多问题时，研究者求诸于人之为人的一般观念，以及人脑是如何限制儿童的学习能力的观点。然而直到前些年，我们对于脑的认识都还极为有限，使得任何人为了更好地得出自己的结论而给脑添加了诸多属性。如今随着我们对于脑更深层次的认识，这样的情况已经不复存在了。现在我们已经可以描绘出一个思考中的正常的脑（Posner & Raichle，1994；Toga & Mazziotta，1997）。

在过去的10年中，我们在俄勒冈大学成立了一个研究注意和性格的联合实验室。我们的工作主要建立在对成人认知和情绪加工过程的脑成像研究所形成的典型任务的结果之上。我们最初的研究是关于婴儿注意神经网络的发展。研究是通过检测婴儿的眼动情况与对实验物体的预期位置是否一致来进行的。婴儿能够把注意转移到预期位置，但是当预测下一个事件发生地点的线索互相冲突时，婴儿便会产生注意的问题。儿童要到2—3岁的时候才具备解决冲突的能力。在我们所作的成人研究中，这种能力与高级注意神经网络的激活相关，这个神经网络起着调节认知的作用。这个神经网络的发展在儿童调控其行为能力中起了至关重要的作用。另外，我们的研究还发现，无论是成人还是婴儿，个体解决冲突的能力都存在着巨大的差异。这些个体差异与性格以及调节注意神经网络的多巴胺和其他化学成分的各种基因形式都相关。这一发现使得我们思考，我们是否可以在这一神经系统的发育过程中进行训练，进而达到影响执行注意的目的呢？

XII 在这项研究进行的同时，我们和经济合作与发展组织（OECD）进行了合作。这个组织包括了22个第二次世界大战后在美国马歇尔计划（U. S. Marshall Plan）下崛起的发达国家。经济合作与发展组织希望召开会议，邀请教育学工作者、科学工作者和政策制定者等一起讨论关于人脑研究对于世界儿童教育的意义。我们参与了其中的会议，并且在经济合作与发展组织的帮助下，建立了儿童早期读写能力与计算能力的研究网络。进而我们建立了一个网站（http://www.teach-the-brain.org），为对脑科学研究感兴趣的教育工作者学习和交流提供了一个平台。目前，这个网站吸引了许多教师的加入。

我们相信我们所作的努力会对教育工作者以及对儿童早期教育感兴趣的人产生积极的影响。儿童控制注意的能力对于适应学校教育以及在学校学习多种重要技能都起着重要的作用。在这本书中，我们把当前研究者对脑发育的认识同多个学科的教育与学习联系起来。本书强调说明注意神经网络发展的研究方法，对于教育工作者、研究者、对注意的神经系统发展感兴趣的学生以及护理工作者有着重要的意义。在本书中，我们建议把我们的研究结果适当地应用于教育，同时也认识到教育设计是一门复杂而精致的艺术。我们为那些对教育设计感兴趣的人提供我们对脑科学研究的知识，期望未来会在此基础之上，形成一个科学家、教育学家和家长之间交流的平台。

开始之前我们要提醒几个容易走入的误区。首先，对于各种技能的教学没有一套固定的规律。有些技能需要在幼儿早期教授，而有些技能则需要在发展到更高阶段后才能获得。另外，研究极少会全盘肯定或否定某个简单的教育理念，而是让我们更清楚地认识到个案是如何与一般规律相联系的。

XIII 其次，本书所基于的研究并不全面，也没有试图给予全面的研究。所以本书并没有提供任何终极的结论，而是为新的发现指明方向。再次，我们研究了一些关于儿童在家中和在学校环境下的不同反应，家长和教师需要认识到个体之间存在着极大差异。每个人的脑都不同，我们才刚刚认识到这种差异是如何与家庭行为和课堂行为相联系的，是如何与认知和情绪能力的发展相联系的。最后，即便是一个基于最新的脑成像的研究方法所得到的详细结论，可能也无法回答家长和教育工作者最关心的问题。也就是说，即便我们完全了解了在阅读时我们的认知神经系统是如何工作的，这也许只能为阅读教学提供非常有限的帮助，但至少学者和实践者可以根据本书提供的研究信息同家长以及教师交流，家长和教师也许能够避免采用过于简单直接的方法来解决他们的问题。当儿童发展和学习中遇到问题时，家长和教师还可以往正确的方向上查找证据，引导他们找到解决问题的方法。

我们对参与研究的学生以及本书所涉及的研究者表示衷心的感谢。我们的共同努力也得到了美国国家精神卫生研究所（National Institute of Mental Health）的支持，美国麦克唐纳基金会（James S. McDonnell Foundation）的“21世纪奖”的支持，以及戴纳基金艺术联盟（Dana Foundation Consortium on the Arts）的支持。我们还诚挚地感谢来自康奈尔大学医学院萨克勒研究所（Sackler Institute）的支持，由于 Mortimer Sackler 及其家庭的捐助使得我们的研究成为可能。我们还感谢 Vonda Evans，Penny Moore 以及 Jesse Springer 对于本书图表以及文字叙述的加工。美国心理学会图书部门的 Lansing Hays、Susan Herman 以及他们的同事也给予我们很多帮助。另外还感谢本书涉及的病人所提供的帮助。

目　录

总 论

3

本书从认知和情绪神经科学的角度追述了人脑从婴儿到儿童中期的发展过程。我们从神经元网络的角度来观察人脑，观察成人在转移注意力、解决思维或者情感冲突时所激活的神经网络。我们想知道这些神经网络是如何发展的，它们对于发展过程中的幼儿以及与他们交往的成人有何意义。由于正规的学校教育在这一发展中起了至关重要的作用，我们特别关注加工语言书写以及数学计算过程的神经网络。

我们知道，仅仅依靠人们对脑科学的认识是无法为如何进行教育构画蓝图的。脑发育的信息只能对教育设计发挥辅助的作用。这种设计的创新性绝不亚于设计一座桥梁或者一座工厂。工程师和建筑师要根据建筑材料的限制与该建筑与其所处位置之间的关系来设计这个建筑。同样，家长以及教育研究者、课程设计者都要基于人类思维的本性以及儿童本身的个性来设计教育方法。

本书的第一部分（第1、第2章）介绍了关于脑与教育的原有理论和教育理论的新进展，提供了背景知识。在第一章中，我们首先描述了神经科学新的研究方法是如何同早期注意的发展以及儿童入学准备和学校的学科学习联系起来的。另外，我们在第1章还讨论了正规学科的历史，考察了注意网络是如何成为一门新兴的正规学科的。第2章简要地介绍了可以用于研究注意网络的方法。虽然脑成像研究主要针对成年人，但是它们提供了考察注意神经网络的基础，包括注意网络是如何发展的以及注意网络效能的个体差异。

4

本书的第二部分主要论述了婴幼儿期注意神经网络的发展。第3章介绍了婴幼儿期感觉定位能力的发展。我们回顾了3—4个月龄的婴儿是如何发展这种注意定向能力的，继而研究了支持这种能力的神经网络及其早期研究中不完善的地方。我们讨论了这种能力在减缓婴儿焦虑中所起的作用。第4章主要讨

论了在儿童发展后期所形成的调节思维及情绪的网络研究。虽然所有的儿童都拥有这样的机制，但在注意能力以及个性的其他方面，儿童之间都存在着巨大的个体差异。在第 5 章我们概述了如何在基因差异的基础上进行专门的训练，来影响自我调节的神经网络。同时我们还介绍了训练 4—6 岁儿童注意力的方法，这种干预确实能够影响儿童神经网络的发展。自我调节能力上的差异对于适应学校的环境非常重要，我们将在第 6 章阐述儿童个性差异的研究。我们认为，这种训练的成功，很大程度上要取决于儿童自身的个性以及环境的影响。

本书的第三部分主要讲述在儿童学习不同学科的过程中脑发育所产生的变化。第 7 章主要论述了热点论题，如阅读。参与阅读的神经网络由于阅读方法以及儿童阅读时所学到的技能的不同而不同。要研究不同方法分别影响哪些脑区的激活，最理想的方法就是应用脑成像技术。第 8 章主要阐述数字加工，人类理解小数字（数轴）类比表征的能力很早就得到了发展，而且这种能力已经被证明对于儿童小学算术能力非常重要。第 9 章阐述儿童的注意和记忆能力在学校学科学习中的作用，学科学习主要依赖于获得和运用概念知识的能力。另外我们还大致介绍了支持复杂知识学习的神经网络的性质，并且还将其应用在教学中。最后，在第 10 章中，我们讨论了注意和学习脑机制研究的新成果是如何指导我们设计学前教育活动的。

5

我们认为，本书所讨论的研究，为学生掌握学校的学科知识内容提供了一个新的视角。语言和数字的学习能力依赖于这些学科所涉及的特定神经网络以及注意神经网络，这些网络在儿童上学之前已经得到了初步的发展。虽然近些年来，家长和教师已经意识到婴幼儿早期培养的重要性，但是他们可能还没有真正意识到这个时期对于语言、数字和注意力进行专门训练的重要程度。心理学和脑科学的结合为我们了解婴幼儿阶段打开了一扇窗户。

我们提倡教育应该从婴儿抓起，同时要把家庭教育和学校教育长期结合起来，在学校的学科学习中促进神经网络的发展。关于儿童脑究竟是如何发展的知识，至少为那些关注学校教育成绩的家长们提供了一个新的参与平台。

第一章

教育、心理和脑

7

人类观察事物的能力一直对科学产生着极大的影响。比如说显微镜，它能让人们看到肉眼观察不到的微观世界。20世纪初期，Santiago Ramon y Cajal在放大镜下面看到了单个神经细胞，而到了20世纪的最后20年，脑成像技术让科学家可以观察到运作中的人脑。人们第一次可以观察思考过程中的脑活动（Posner & Raichle，1994）。20世纪的另一个重大成果源自于DNA作为基因的基本单位这一划时代的伟大发现（Crick & Watson，1954）。到20世纪末为止，我们已经描绘出人类基因组的完整图谱（Venter et al.，2001）。

尽管脑成像技术的各个方面已经发展了相当长的一段时间，但是直到20世纪80年代后期，直接观察人脑活动的新时代才真正地到来。观察脑的能力有赖于最初被Cajal观察到的神经细胞的活动。当神经元处于活跃状态时，它们就会改变自身的局部供血，这样我们就可以通过检测脑供血区域的变化来追踪认知过程中脑的哪个区域被激活了。

8

如今我们可以观察脑思维时的内部状态了。我们可以拍摄很多奇妙的照片，来记录脑的活动过程。例如，图1.1所显示的提取词对的练习所涉及的脑区。在短时间的练习中，参与活动过程的神经网络发生了重要的变化。观察活动中的脑有助于了解神经网络如何适应学习。图1.2是多个研究的结果，标明了在阅读、注意和知觉研究中被激活的特定脑区。这些研究为脑如何应对一般性事件和任务提供了一个全新的视角。

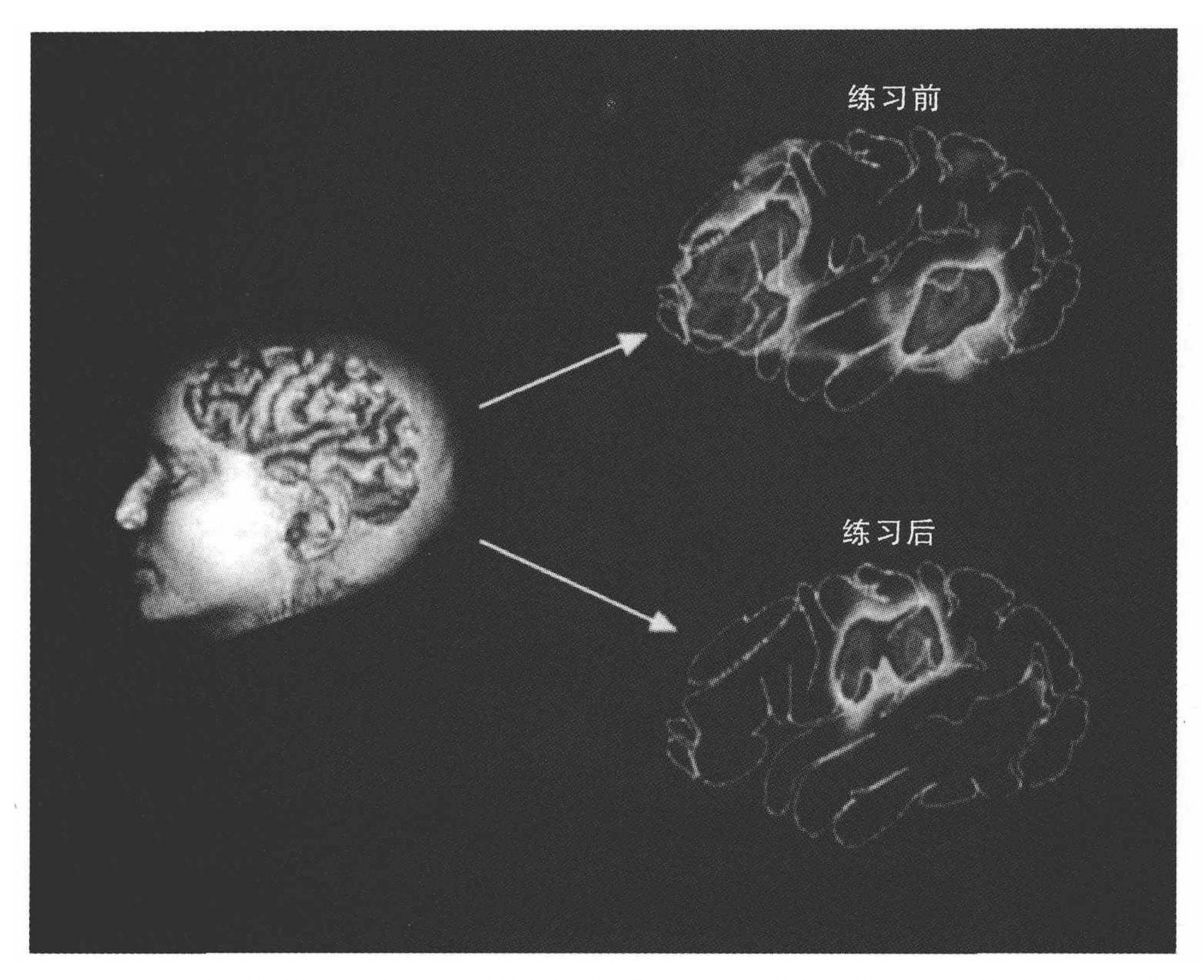


图 1.1　练习前后的脑成像。在被试练习产生出词汇用途的任务时，如“锤子”（用途：捶），扫描脑。在他第一次完成词列时，他的反应慢而且需要努力，这一活动的神经网络包括前额叶和顶叶区域激活。几分钟的练习以后，任务不需要努力，先前激活的区域不激活了，新的、更自动的输出通路被激活。图片来自“Practice-related changes in the human brain: Functional anatomy during nonmotor learning.” by M. E. Raichle, J. A. Fiez, T. O. Videen, A. M. K. McCleod, J. V. Pardo, P. T. Fox, and S. E. Petersen, 1994, Cerebral Cortex, 4, p. 14. Copyright 1994 by Oxford University Press. 经允许改编。

心理活动脑成像方法的发现已经过去十多年之久。在这一期间，研究者对人类许多与技能对应的解剖区域有了深入的了解，包括语言、面孔知觉、注意控制、阅读和算术能力。

这些研究通常以成人为被试，但同样地，科学家也试图去研究婴幼儿学习中所需要的关键能力；我们在本书中会讨论到这些观察结果的重要性。这些新的研究发现使家长和教师在一定程度上了解到以往任何年代都没能获得的关于人类发展的知识。要最大程度地运用这些新的知识，教育工作者和家长就要了解这些方法的利弊，同时研究者也要了解这些方法以确定新的研究方案。

9

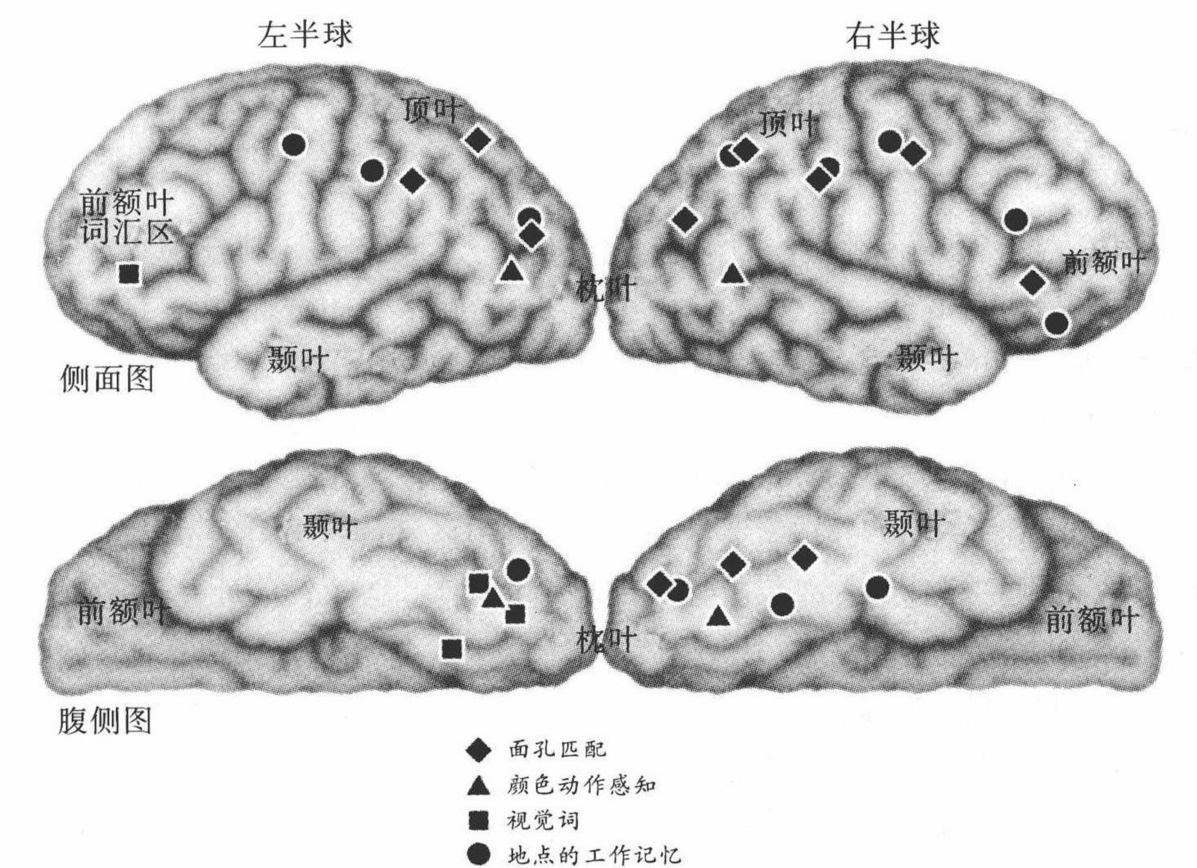


图 1.2 脑成像研究所揭示的脑网络。一些共同的任务所激活脑区的侧面图和腹侧图，包括对颜色和动作的被动感知（三角）、视觉字形区（方块）、对地点的工作记忆（圆圈）、面孔匹配（菱形）。在所有这些脑区中，包括了一些相距甚远的脑区。根据"Functional brain imaging studies of cortical mechanisms for memory" by L. G. Ungerleider, 1995, Science, 27, P. 771. In the public domain.

在脑成像研究中，对注意的研究一直是其中很重要的一个部分（Posner, 2004）。在被试关注感觉信息、进入警觉状态以及调控相冲突的潜在行为反应时，我们可以对相关的脑部网络进行脑成像扫描。

由于注意神经网络是婴幼儿调节情绪和行为能力的核心部分，本章将主要讨论注意的神经网络。

10

如前所述，20 世纪后期的第二个重大发展是人类基因组图谱的绘制（Venter et al. , 2001）。现在可以认为，神经网络效能上的某些差异可能源于儿童天生的基因形式的差异。基因决定了脑的基本结构，决定了神经细胞的存活时间，同时决定了个体差异。基因和个人的生活经验在很大程度上塑造了神经网络结构，而神经网络结构对于注意和记忆至关重要。尽管对所有人类个体而言，影响脑结构的基因编码结构大致相似，但是个体差异仍然存在。这些差异叫作"多态性"（polymorphism），它们可以解释人与人之间气质和注意的差

异，也可以解释儿童在特定学习环境中的不同反应。

一、学习和教育

从人类出现开始，家长就始终通过言传身教对孩子进行教育。另外，专业的教育和研究也逐渐为儿童教育提供更多正式的指导。传统的教育工作者和研究者主要关注可以教孩子什么，为什么要教他们。然而在不了解经验如何影响孩子脑系统的情况下，对于教育和脑的关系就有很多推测和猜想。

现代的观点也有很多，有人认为教育只能有选择地影响已经存在于脑中的神经网络（选择主义），还有人认为任何人都能通过练习学习任何技能（建构主义）。在 Michael Gazzaniga（1994）的《自然的心灵》（*Nature's Mind*）一书中，他对心理发展提出了一个选择主义者的观点。这个观点认为，教育的作用主要是要找到特定技能，而培养这一技能所需的能力必须是脑自身已经具备的。这个观点认为遗传决定性至关重要，它决定了一个人的学习能力，若要这个人发展他天生倾向之外的能力，简直是无稽之谈。而 Herbert Simon（Chase & Simon，1973）则持完全相反的观点，他认为只要有足够的时间和努力，任何人都能成为任何领域的专家。在 Simon 看来，任何人花上 50 000 个小时的努力去学习一门高难度的技术，都能成为专家。Simon 也认可在这种学习过程中脑的参与作用，但他认为脑并不会以任何重要的方式对学习形成限制。当这两个研究心理功能的杰出学者对于教育的观点针锋相对时，很清楚的一点就是，我们必须对这个问题进行更深入的研究，看看在脑和教育的关系上有没有可能达成共识。

11

（一）认知发展

在教育问题上出现的争执早已不鲜见了，而心理学往往在这些争论中起着重要的作用。心理学家 Edward Thorndike 提出了一个基于概念联结的路径（Thorndike & Woodworth，1901）。Thorndike 认为，外界刺激（例如，老师提出的问题）与反应（例如，学生的正确回答）之间的联结是学习的中心目标。在不同领域的学习中，特定的联结是不同的，而且一个联结会根据相似程度来激活其他的联结。Thorndike 认为从一个学科到另一个学科的迁移都要基于学习对象所共同具备的元素。根据他的分析，学习者在英语和拉丁文或者希腊语之间比较容易迁移，并非由于他们学习了古典语言的语法之后一般能力得到提

升，而是因为这些语言具有很多相同元素。

1. 联结

Thorndike 的联结主义观点在20世纪早期到中期得到了行为主义学派的进一步发展。20世纪初期俄国心理学家 I. P. Pavlov 进行了研究，他为联结的观点提供了生理依据。Pavlov 发现，当把一个新的刺激和一个会产生反射的刺激进行配对的时候，这个新的刺激也会产生反射反应。在经典的例子中，铃铛和食物进行配对之后就可以诱发出唾液分泌反射。所以说，人的经验会让人获得新的联系。这个实验被称作“经典条件反射”（classical conditioning），为联结的观点提供了生理基础。

B. F. Skinner（1986）进一步发展了 Pavlov 的反射学说，他提出若在反应之后给予奖励，两者间的联结同样可以被强化（“工具性条件反射”，instrumental conditioning）。反应与奖励之间的反复配对，会增加受奖励行为发生的概率。Skinner 认为个人经验和进化过程很相似：经验会选择那些能得到奖励的反应方式，就像在进化过程中会留下那些能够使人生存的基因。在教育情境中，学生作出反应，而他们的奖励通常来自于老师。Skinner 教育的目标就是要分析各个学科需要掌握的要点，将之分解为小步，学生可以很容易地在每个步骤作出正确反应进而得到积极反馈，这样就增加了联结的强度。由于每个新的正确反应都是在恰当的问题下作出的，这些为学习更高级的问题打下了坚实的基础，进而必然能够很好地掌握这门学科。

继 Skinner 的分析而发展起来的教学机器和程序教学假定，如果创造一个没有错误的学习环境，学生的学习效果则可以达到最好（Terrace，1963）。

12

持续的积极强化可以逐步塑造正确的反应。从某种意义上来说，Skinner 的观点是非常乐观的。同 Simon 一样，他也认为人类的学习能力是没有什么限制的。在 Skinner 的观点中，每个人的学习能力都是与生俱来的；是否能够掌握一个领域取决于教师在学生学习特定联结时所提供的教学结构和奖励。

联结观点的原理得到进一步发展，与脑联系起来。这一观点认为，一个想法导致另外一个想法是基于：（a）这两者的共同点，或者（b）之前它们在某种情境下被同时激活过。加拿大神经心理学家 D. O. Hebb（1949）将联结说运用于建立脑功能模型。他后来提出，经验会使神经细胞重组。他认为当神经元在同一时间被激活的时候，这些神经元会有物理上的改变，这种改变增加了它们相互激活的能力。人们在学习一种能力的时候，神经元通过提高一个细胞能

够激活其他细胞的可能性来提高它们的交流能力。随着技能的发展，这些神经元群就会作为一个整体共同行动。(Hebb，1949)。

2. 认知

在20世纪中期的近40年时间里，Jean Piaget关于心理发展的论述一直占据主导地位（Flavell，1963)。Piaget建立了一个详细复杂的系统来描述人类婴儿是如何从最初的遗传形态经过一系列的发展阶段达到成人的思维模式的。Piaget较少强调教育在改变或加速这些发展中的作用，他的观点被用于支持以下的这个观点：只有当儿童的心理发展到一定阶段的时候，才能教给他们适于其年龄的学科。

Jerome Bruner (1960) 则持不同观点。他认为，从认知的角度来讲，如果加以恰当分析，任何学科都可以用合理的形式教授给任何年龄的儿童。他和Piaget一样，在婴儿智能研究中有着卓越的成就。Bruner并不认为在学习中存在着关键期，也就是在某个时期内必须学习某个方面的内容，否则之后再也弥补不了。相反，他认为一个人心理潜力的获得可能是基于幼年时所获得的恰当经验之上的。最基本的问题是新的学习是否会影响正在发育的脑。我们在本书的第3、第4和第9章中从注意方面研究了这个问题，而且为Bruner的观点提供了证据。

13 Skinner、Bruner和Simon等主张运用心理学来指导教育，但他们的学说没有建立任何关于脑的模型。事实上，之前提到的心理学家，在理论上把脑活动看作学习基础的同时，认为我们不需要通过了解脑活动便可以了解人类学习所需要的心理规律。尽管Skinner是美国行为主义学派的代表人物，Herbert Simon则是认知科学的创始人，但他们对于学习和技能发展的见解是相似的：通过了解学生的学习环境，以及机体学习的相对简单的原则，便可以指导教育发展了。Skinner的原则主要是激发动机，合理运用奖励。在实际操作过程中，这就意味着要花大量的时间来了解这个复杂的知识，把学习分成很多细小的步骤，并在掌握的过程中不犯任何错误。学生会在每个步骤中都得到鼓励。

Simmon也强调必须了解其学习环境，因为正是环境使人的行为多样化。不同的环境需要不同的知识与技能。根据情况的变化，一个人可能更擅长某个领域的知识而在其他领域略逊，例如，如果国际象棋手缺乏大师级象棋比赛的情境，他的记忆力可能也只是和平常人一样罢了。Simmon把人们共有的内在机制看得很简单而且大致相同，但人们的语义记忆内容因为所生活的环境不同

而不同。尽管 Piaget 关于认知发展的理论要相对复杂得多，认为人在发展的每个阶段都为学习某种特定的能力作好一定的准备，但他和 Simmon 一样，都没有尝试着说明脑的发育成熟对各个阶段的支持作用。

（二）训练的迁移与专长

在 20 世纪之交，学校里比较盛行的是正规学科的教育观念。最基本的观点是，脑的一般能力可以像肌肉一样来锻炼，而负责某些学习（如学习逻辑、数学、拉丁文和希腊语）的脑区比起其他区域可以提供更好的脑训练。因此，学校要求学生必须学习这些学科，希望学生可以把从中所获得的心理能力和源于动机的自律性应用于他们所需学习的其他任何领域。

随着学校的扩招，受教育的人群越来越多，其目的在于为孩子日后的工作作好准备，这样一来问题就出来了，这些正规学科对学生找工作是否真正有用呢？Thorndike 关于联结的观点（Thorndike & Woodworth，1901）被用来证明这些正规学科训练可以迁移到其他各个领域的想法是错误的。

美国的 Diane Ravitch（2000）在评论美国教育史的文章中是这么阐述 Thorndike 所提出的质疑的：

14

> 关于训练之间的迁移关系在学校课程设置的可行性评价中越来越重要了，究竟在学校教育中如何运用这一特点又显得很模糊。有些教育心理学家引用 Thorndike 和 Woodworth 的理论，坚持认为从一种环境中学到的东西是完全不能应用于其他任何领域的。（p. 65）

中小学老师很快意识到 Thorndike 的理论动摇了传统课程设置的基本原理，他们应该来建立一种新的教育体系，可以教授学生真正可用于工作的技能。

（三）认知科学和训练的迁移

认知科学应用于技能学习之后，为训练的专业化提供了新的理论支持。随着计算机的发展，在心理学和认知科学领域，科学家开始以计算机程序的形式来建立心理过程模型。早期的例子有“一般问题解决者”（General Problem Solver，Newell，Shaw & Simon，1958）。这个程序可以给出数学基本定理的证明过程，在当时它对心理学产生了巨大的影响。它清楚地说明，纯电子系统可

以解决很复杂的问题，这让人们想到，即使是人类思维的最高级模式，也可能是建立在可以用电子计算机细化和模仿的计算基础上的。这个程序说明，用少量的基本原则就可以制作一个可用以证明大量数学定理的程序。

许多研究者继续往这方面努力，他们认为，这个效仿人类思考的“一般问题解决者”的出现，说明了人类只需要学习少量的基本原则，就可以解决大量的复杂问题。这一观点比起 Thorndike 和 Woodworth（1901）的研究而言，更有利于解释高级概念之间的相互迁移。之后，研究者致力于开发计算机，让它们做当时看来只有人类才能思考或者解决的任务。然而，这种对人工智能的研究背离了最初的观点：复杂问题的解决只需要少量基本原则就足够了。相反，若要解决某一特定应用领域的问题，就需要该领域的大量信息。Duda 和 Shortliffe（1983）是这么总结的：

> 早期我们希望少量有效的普遍机制就足以让逐步减少的智能行为产生。但当我们真正去面对困难问题的时候，往往发现仅仅依靠这些跟问题本身无关的探索方法根本无法解决复杂的问题。

15

当把这一观点应用于人类身上时可以得出，专长是基于大量的领域特殊性学习，通过练习才能获得的，并且储存于语义记忆之中（Chi，Glaser & Farr，1988）。Herbert Simon（1969）根据对人类国际象棋冠军的研究发现，他们的技能完全建立在他们对象棋的知识之上，而非其他任何先天或后天的普遍能力。象棋大师在看过大师级棋赛的棋盘后可以记住多达 30 个棋子的精确位置，而一般的象棋手只能记住 7 个。象棋大师不需要关于该局棋赛的任何相关细节就可以做到这一点。但是当棋子是无序排列或是用其他的记忆测验进行测试的时候，他们的水平和一般象棋手就完全一样。看来象棋大师并不拥有很大的普遍记忆容量，但对于按照一定规则摆放的棋盘有着超高的记忆力。在对于这些象棋大师的研究中，Simon 总结说，要达到他们对棋盘的记忆力，要做 50 000 个小时的专项训练。

也许对于训练可以造就专家这样的论断最有力的证据是：几名学生通过训练，数字记忆的广度可达 100 个（Ericsson & Chase，1982）。一般情况下，当人们听到 1 秒为间隔的无序数字列的时候，最多只能记住 7 个数字。若经过数月的训练，让学生学习一套编码代码，把每 3 个连续数字与各个田径赛事的跑步计时对应联系起来，学生可以准确无误地回溯出这 100 个数字来。但是经过数字训练后，如果重新以字母为记忆材料，他们的记忆成绩仍然和常人相同

(Ericsson & Chase, 1982)。

心理学对一个领域的知识究竟能够在何种程度上迁移到其他领域的观点，很大程度上影响着社会如何评价学校对青少年认识世界的教育过程。现在大学只对学习古典和哲学专业的学生教授拉丁文和逻辑学知识，而其他大部分专业技能课程对大学生都是开放的。

16

(四) 注意力：新的正规学科?

在脑科学研究中涉及的一个问题是，人类学习究竟是要通过培养综合能力来完成，还是仅仅通过领域特殊性的专门训练就可以。在认知神经科学的所有领域，每种行为表现背后都有一个专有的神经网络。但是，有些神经网络具有调节其他神经网络的活动特质。比如说，本书主要论述的认知和认知神经科学的发现都是从注意这个课题研究中展开的。从心理学的角度讲，注意包括从睡眠状态到高度警觉状态的转变，包括从专注于某个物体转化到忽略周围事物，包括从对外部事件的反应到某个特定目标所驱动的反应。

正如本书将阐述的，注意的神经网络是从婴儿（第 3 章）开始发展至幼儿时期的（第 4 章）。但是，注意的发展也受其他神经网络活动的限制，这就预示了我们能够获取无限量技能的可能性。注意力和其他脑系统共同决定了知觉和行动的优先级。注意调控脑的功能，使之与学习的其他所有方面都有联系。从第 3—5 章我们会详细论述注意神经网络如何从婴幼儿时期发展到儿童晚期。我们还认为注意网络能力的发展会影响很多学校科目的学习进程（第 7、第 8 和第 9 章）。从这个角度上来讲，注意可以被看作是一门不同类型的正规学科，它可以影响许多认知和情绪网络的运作效率。

二、个体差异

学校教育和心理学之间结合的另一个突出贡献体现在对心理能力以及儿童根据课堂环境要求来调节情绪、活动水平和注意能力的个体差异。关于个体心理能力的研究一般从属于智力这个主题之下，而情绪、活动和注意的个人差异一般属于儿童气质的研究范围。在这两个大的方面，科学家都努力把认知、情绪和性格方面的差异归结于神经系统的不同。

17

(一) 智力

1. 学校学业成绩的预测

关于智力的研究主要侧重于可以预测学生在学校各科目成绩的认知能力差异上。20 世纪之初，欧美开始推行的义务教育极大地促进了 Alfred Binet 智力测验的发展。就像 Leona Tyler（1976）所说的，“显而易见，（‘义务教育’）这一立法也许是人类历史上第一次把所有不同智力水平的人集合到同一个地方，这就使得教育者必须去克服其多样化”（p. 14）。

Binet 对此的独特贡献是缩短了智力的定义和测试方法中所涉及的哲学和智力问题之间的距离。Binet 采用了在智力测验史上惯用的两个原则作为他测验的基础。第一个原则是选择与测验所要预测的技能相关的测验项目，例如在他的测试中包含了记忆、想象、注意、机械理解和语言理解以及审美，这些都是在学校环境中较有用的专门技能。第二个原则是在测量智力时将年龄等值考虑在内。一个儿童的智力能力的高低是根据相同年龄儿童应有的表现来进行衡量的。智商分数是儿童在智力测验中的成绩与同一年龄段儿童的平均成绩的比率再乘 100。随着年龄增长，儿童的成绩越来越好，Binet 所测验的功能得分会随着年龄增长而增长，但他为每个年龄阶段建立了常模标准。Binet 基于对随着年龄增长而成绩提高的能力测试，避开了对智力的定义问题。经过多年的修改完善，这些测验越来越精确，统计方法的强大以及大规模的施测也提供了准确的常模。

Binet 的方法成功地为测试智力提供了技术支持。尽管如此，他的成功仍然没有回答最基本的问题：智力的本质究竟是什么？智力后来演变为智力测验的结果。在 19 世纪 60 年代，人们开始思考有没有测试人们日常生活能力的智力测验。对于个体差异进行的智力测验与这些差异可能存在的机制研究分离开来。要确定智力的个体差异是如何产生的，我们必须把智力与认知理论联系起来。

2. 一般因素“g”

把智力同认知理论联系起来是有历史根源的。甚至在 Binet（Tyler，1976）之前，Francis Galton（1907）就已经开始研究智力的个体差异了。他检测的是他所认为的人类基本能力，比如说感觉的敏锐度和反应速度。但是，Galton 并

未找到这些因素同人的成就之间的关系，亦未发现人类思考过程中所需要的基本心理操作。

Galton 和 Binet 为智力问题研究所作的努力代表了两种不同的思路。Galton 寻找的是可能由于脑机制的原因而产生的人和人之间的最根本的差异，而 Binet 使用的是更具实际意义的操作能力，这些能力和学校教育中所用到的技能很相似。尽管 Binet 的方法被广泛用来预测学业成功，但它事实上并未能够从最根本的神经学角度来说明个体差异的产生，也不能说明学习究竟能从多大程度上改变这些差异。在整个智力测验的历史上始终都关注的另一个问题是，不同领域内智力的关系到底如何。智力中是存在着一般因素还是领域特殊性因素？这个问题和我们前面讨论过的领域一般性与领域特殊性对学习行为和认知分析的影响相似。 18

Spearman（1904）依据简单心理任务成绩之间的相关，总结认为确实存在一个普遍的智力能力，他用“g”来表示（代表一般智力，general intelligence），另外还有很多较小的特殊能力。但并不是所有的心理测量家都和 Spearman 一样认为“g”有那么重要。例如 Thurstone（1924）就把“g”进一步划分为一系列初级的心理能力（视觉空间能力、知觉能力、言语理解、数学能力、记忆、语言流利程度以及推理能力）。由于涌现出越来越多的初级心理能力，人们希望能够建立一个框架来支持这些对于个体智力差异的分析。其中一种理论框架是由 Vernon（1961）建立的，他把所有的因素都从高到低排列在不同层面上。最底层的是不同测试题目所检测的各个特殊因素，最高层是总体智力因素“g”。这个模型虽然松散，但是确实有助于将大量不同的因素组织起来，同时还保留了智力概念的普遍的共同核心。

Guilford（1967）建立了一个三维结构的智力模型来解释智力因素之间的关系。他测试的三个主要维度和下面这三个方面一一对应：心理表征的内容（例如，视觉想象、单词）、结果（例如，分类）以及期间的心理操作（例如，信息整合、对比）。其中内容对应于表征，同时过程和结果大致地对应于不同类型的心理操作，这些操作被视为思维过程的基础。

19

3. 多元智力

神经心理学使得智力研究朝着更为复杂的方向发展，而且近年来证明它对教育起着重要的作用。Howard Gardner 的著作《心智的结构》（*Frames of Mind*，1983）首次开创了这个理论的先河。Gardner 的多元智力理论不是建立于智力测验分数的基础上的。相反，他试着把智力同脑系统的普遍特征联系起

来，他所谓的这些脑特征是从正常人在这些能力上表现出来的个体差异以及病人研究中获得的。他认为至少存在7种智力：语言、数学、音乐、空间、运动知觉、人际交往能力及自我觉知能力。教育学家根据他的理论来设计特定的学校教育课程，使这几种能力都能得到专门的训练。Gardner的观点使智力测验跟本书的神经系统理论更趋于一致。他的理论从脑科学的角度来思考课程，在一些公立和私立学校中颇有影响。我们认为本书第2章所讨论的新的脑成像方法为解释脑究竟是如何完成认知任务的这个问题提供了更深入而新颖的思路，并能为智力的个体差异作出更本质的概念解释（Posner，2003）。

（二）气质

尽管教育通常强调的是认知能力上的个体差异，学习还取决于儿童的目标、价值观、动机以及他们和其他人相处的能力，以及调控自己正负性情绪的能力大小。要有效地进行教学，就一定要考虑儿童的情绪以及注意因素，这些因素都属于气质的研究范畴。我们把“气质”定义为个体儿童情绪、动作反应和注意中所表现出来的反应性和自我调控能力方面存在的先天固有的差异（Rothbart & Derryberry，1981）。我们所说的**反应性**是指个体对环境刺激变化的响应特征。对于**自我调控**，我们指的是调节这一反应性的过程，包括行为、回避、抑制和注意的自我调控。我们认为，个体的气质差异构成了早期表现出来的人格差异，也进一步影响人格后期的发展。

20

在婴儿早期，多数儿童依靠监护人来调节控制，但儿童自我调节系统会在3岁之前发生质的发展（本书第4章）。为了更清楚地了解教育发展的过程，我们现在看一看气质的发展过程以及气质对人生不同阶段的影响。

1. 气质的研究历史

与研究个体智力差异不同，人类对气质的研究有很长的历史。许多世纪以来，科学家一直努力把人的不同性格特征同生理结构联系起来。对于人体气质的四种划分：多血质（乐观外向）、胆汁质（易怒的）、抑郁质（悲伤和害怕的）和黏液质（情绪强度较低），可以追溯到古希腊罗马内科学，而且这一划分还贯穿了整个中世纪及文艺复兴时期。更现代一点的观点是，气质方面的个体差异是和脑发育相关的，这源于Pavlov的研究。例如，Pavlov认为，人类有机体的神经系统强弱不同而导致他们对各种情境的理解和反应程度不同。近来的研究已经可以将基因同不同人的性格特征联系起来（本书第5章）。随着人

们对基因和环境经验究竟是如何影响神经网络发展的认识更加深入，心理学家能够更深入地研究教育环境对气质的影响。

早期英国对于气质的传统研究强调自陈测评以及从气质和人格量表条目中抽取因素，而与脑科学的研究无关。然而从 20 世纪 50 年代开始，Hans Eysenck 开始把从个体自陈报告量表中得到的气质维度（特别是外向—内向和神经质维度）同俄国的传统反射理论联系起来。Eysenck 的工作得到了认可，并被 Gray 修正为行为趋近系统和行为抑制系统。这两个系统为人们考虑行为的个体差异提供了基础。

把气质领域应用于儿童的研究则是相对新近开始的（综述见 Rothbart & Bates，2006）。在 20 世纪二三十年代的大型标准化研究中，Gesell（1928）和 Shirley（1933）提出了 Shirley 称为人格的早期概念的核心思想。Shirley 认为，尽管儿童的情感反应随着发展而变化（例如随着年龄增长，儿童越来越少地表达他们的消极情绪），但是儿童本身的个性是可以从他们这些反应中的倾向中观察到的，例如羞怯感、正性情感和易激惹性等。

Gesell（1928）发现，根据儿童的社会经验，无论怎么定义不同种类的气质特点，其发展都有无数种可能性。他用了 C. D. 的例子来解释这个理论： 21

> 一个人从她 9 个月大的时候就开始用一种乐观的态度看世界：她现在 5 岁大了，尽管她在家庭以及学校机构中有很多不同的经历，她的这种气质都没有改变。这些是她内在的一部分……我们基本上可以预测，到青少年以及成人时期她的这种气质也不会有改变。但是我们并不能依此来预测她的人格。但至于她会不会转变为反社会性人格，或者她有没有成为反社会性人格的可能性，要取决于她后来接受的教育、环境和引导。她当然也可能会成为一个乐于助人的有创造性的工作者。（Gesell，1928，pp. 372-373）

这些气质领域的理论为思考个体差异和教育结果之间的关系奠定了基础。在 Gesell（1928）的例子中，由于儿童生活经历的不同，同一类情绪反应可能产生两种完全不同的结果［Cicchette 把它称为同途异归性（Cicchetti & Rogosch，1996）］。另外，不同的情绪反应可能通过不同的方式而产生相同的结果（殊途同归性）。Kochanska（1995）研究的易恐惧和外向型儿童良心的建立过程为这些理论提供了证据。他发现易恐惧儿童的良心与儿童监护人较轻的处罚的关系更大，而外向儿童的良心与监护人分享的积极情绪的关系更大。更

广义地说，这些理论为我们了解神经系统是如何影响儿童的发展提供了帮助。

2. 气质的维度

在众多儿童气质的研究者中，最有影响的是 Stella Chess 和 Alexander Thomas 及其同事在纽约所作的纵向研究（NYLS；Thomas & Chess，1977；Thomas，Chess，Birch，Hertzig & Korn，1963）。这些研究者分析了婴儿出生后六个月的行为报告，提出气质有 9 种不同类型。这 9 种不同气质类型后来被应用于不同年龄阶段的儿童，包括儿童的活动水平、反应阈限、饮食节律、睡觉和排便习惯、反应强度、对新环境的趋近和回避模式、总体情绪、对变化的适应能力、注意的分散性以及注意广度和持久性。但是，最近的研究表明，需要对这种气质类型的划分进行修订（Rothbart & Bates，2006）。我们会在第 6 章详细讨论这些修订。

22 随着气质研究的发展，这种气质分类需要修订，因为在纽约所作的这个纵向研究分析的是婴儿早期的不同气质类型。因此这些气质类型只说明了儿童早期的性格类型，并未考虑后来的发展。虽然研究者最初认为，气质系统在人类出生早期就已经定型，并且不会随着时间的改变而变化（例如，Buss & Plomin，1984），但现在我们知道，气质系统的发展遵循一定的发展轨迹（Rothbartm 1989b；Rothbaet & Bates，2006）。在儿童早期就可以看出，儿童对消极和积极情绪的表达以及他们对环境事件的反应。但是儿童的自我调节能力从学步期发展到学前期，并一直持续到上学的前几年。

儿童早期发展的主要能力之一是“努力控制”（effortful control，Rothbart & Rueda，2005）。我们的主要研究将气质的不同类型同执行注意的神经网络系统（第 4 章）联系起来。婴儿早期出现的注意力转移现象是自然发生的。但是决定自我的行为以及情绪调节的执行注意控制能力发展得相对较晚，是在 1 岁后期开始一直持续到在上学期间（Posner & Rothbart，1998）。

直到最近，研究者才开始考虑如何把对气质类型的研究应用到学校教育中去（Keogh，1989，2003；Martin，1989；Rothbart & Jone，1999）。由于儿童的情感反应的速度和强度不同，他们对相同的刺激物产生的反应也有所不同。儿童之间的不同表现在，对能够激发他们产生各种情绪的强度要求不一样：比如说有些人比较容易产生害怕，沮丧或者兴奋情绪，而有些人比较难，另外这些儿童的注意集中程度以及自我调节能力也不同。由于注意控制包含情绪调节，有些学校的儿童就缺少其年龄阶段所应该具备的情绪和行为控制力。到入学的年龄，气质会影响儿童对学校要求的适应能力和挑战能力。反过来，成功

和失败的经历也会影响儿童对自己、学校、老师以及同龄人的认识和价值观。

对情绪和气质的脑科学研究是通过对动物情绪尤其是恐惧的神经回路研究来进行的（LeDoux，1987；Panksepp，1998）。这样的研究方法还应用于对脑损伤病人的情绪反应研究（Damasio，1994），同时进行的还有脑成像研究（R. J. Davidson，2000）。另外对于气质的自我调节能力的脑机制也有研究。本章我们要讨论婴儿监护人所给予的情绪调节机制（第3章）以及儿童自身发展所形成的自我情绪调节机制（第4章）。自我调节机制在儿童适应学校的能力中发挥了重要的作用。

（三）气质的其他方面

1. 社会学习和认知方法

20世纪行为主义者和社会学习理论家强调个体差异发展中的社会性因素。他们并未考虑气质因素，相反，他们强调儿童的社会学习。他们相信学校学习可以通过鼓励的方式来激励（社会鼓励、奖励、奖品、高分），或者适时的外部惩罚（低分）来进行控制。儿童对奖励和惩罚的不同反应是在之后的气质发展中形成的（Rothbart，Ahadi & Hershey，1994；Rothbart & Jones，1998）。

社会学习理论随后被很多认知、社会和行为理论家，诸如Bandura（1989）、Dweck（1991）和Eccles（1983）进行了修正。这些理论取向从儿童的目标、想法和信仰角度来强调认知的重要性。就是说，儿童的动机是建立在和学校相关的自我概念（他们对自己的能力、技能以及自我价值的认识）、对于成功和失败的期望以及从预期的或者是经历过的成功和失败中所产生的情绪之上的。气质理论中有关奖惩敏感性的观点很快就完善了这些理论，尤其是Harter（1998）的理论。但是一般而言，它们都不能相互替代。

2. 动机

理论家近来强调内部动机的重要性，即人们对事物内在的兴趣以及注意产生的心理过程。这个研究途径也强调儿童学习目标的发展（Clifford，1984；Nicholls，1984）以及儿童对于自己所做事情的意义的认识。Connell和Wellborn（1991）还强调了儿童参与决定自己想要学什么的重要性，让他们有自我控制的感觉。而且，我们在回顾这些理论家的观点时，儿童与奖惩有关的气质特征的个体差异以及感受控制需求的个体差异也非常重要。

三、小结

本章我们讨论了有关学习基础和教育过程的不同的心理观点之间的关系。有时候，在反对正规训练的情况下，用智力测验、程序性学习这些方法对于教学方法以及教学内容都有长期而深远的影响。这些联系基本上并未建立在脑是如何工作的研究基础上。我们认为这是一个把脑机制的研究同教育研究结合起来以改进研究脑的方法以及更深入地了解个体差异的新机遇。这些机遇在于我们对不同气质类型的儿童自我认知和情绪调节的深入理解。努力控制与注意具有相关性，而且两者的结合能够把教学和神经网络联系起来。在历史上，人们常常试图将教育建立在心理学概念的基础之上，我们应该借鉴这些历史经验，谨慎地运用这些把脑和教育连接起来的新颖而详尽的方法。

第二章

25

脑与心理之间的关系

研究脑活动的新的研究方法使研究者能够更深入地了解人脑的发展，并将他们的研究应用于儿童的教育中。本章的目的是提供丰富的信息，让读者了解这些研究方法以及用以评估气质的方法，以使读者能够了解当前的研究发现以及不久的将来会得到的研究成果。

本章的第一部分主要阐述我们是如何获得人类在思维活动时特定脑区激活的脑成像方法（以及最新的关于心理行为过程的脑区定位发现）。之后我们大致介绍在心理过程发生的同时记录脑区激活的方法，检测信息是如何在节点间传递的（追踪神经元回路）。最后，我们将讨论获取个体认知和性格差异的信息的方法以及如何将先天基因和后天环境对神经网络的影响区分开来。总之，本章将让读者了解本书中读者所需要了解的早期儿童注意神经网络的发展（第3—5章）以及在学习学校科目时脑的变化（第7—9章）。

26

一、心理活动的脑区定位

从古到今，科学家一直把对复杂学习的研究（比如说学校科目的学习）同脑机制的研究分离开来。原因很简单：可以研究人类学习过程中脑变化的方法太少了。脑科学研究中所思考的一个主要问题是：是否每个脑区都有相对应的心理功能？

（一）脑区功能定位的历史

心理学家一直对脑科学研究持有怀疑态度的原因，可能是由于早期颅相学作为脑科学理论的兴起和逐步衰败。颅相学应用学家认为，脑的某个部位的隆起可以推测那个部位脑组织的大小和重要性。因此，隆起可用作为推测认知能力和人格的基础。

显而易见，这种将头骨的生理解剖结构同任何功能联系起来的做法并没有根据。颅相学的失败在它不仅无法成功地预测脑区功能，并且一些颅相学家为商业利益的动机所驱动，这使得人们对这一理论普遍持否定态度。从某种程度上讲，颅相学的失败也导致了人们进一步反对人脑的高级功能可以定位的观点。直到现在，颅相学的失败仍然被用作证据来反对人们将过多的精力放在诸如图 1.2 所示（ Uttal，2001）的脑成像功能定位研究上的主要原因。尽管如此，确实有理论把脑区激活同脑机制联系起来。而且，我们之后会提到，脑成像的作用不仅仅在于脑功能区的定位。它还可以为研究与各种思维和情绪相关的特定神经网络的发展提供新的途径。

此后对脑功能定位研究的一个较沉重的打击来自于 Karl Lashley（1929）的研究。Lashley 研究了有计划地损伤老鼠的不同脑区之后，老鼠学习走迷宫的能力。他发现，相对于脑的特定区域而言，大脑皮层组织被切除的数量更能预测老鼠学习走迷宫的能力降低的程度，而与切除的特定脑区无关。他由此得出结论，老鼠学习走迷宫的记忆痕迹不是储存于任何一个特定的脑区，而是取决于老鼠所拥有的大脑皮层组织的大小。现代脑成像技术研究对脑功能定位持有完全不同的观点，这种观点也能解释为什么走迷宫的记忆可能并不储存于脑的任何一个特定区域。

Broca（1861）以及其他神经学家的研究表明，语言等过程中涉及的特定认知功能可能存在于脑的特定区域。这些研究为脑功能定位的理论提供了一些支持。在 20 世纪，对脑损伤病人的研究在神经心理学的研究中占据着非常重要的地位。

27

（二）分裂脑

为了防止无法控制的癫痫发作，Roger Sperry 将癫痫病人大脑半球之间的联结切断，形成了“裂脑人”，为此他获得了诺贝尔医学奖。他的研究揭示，

相互分离的大脑半球具有复杂而多样的认知功能。左半球似乎在语言上具有优势，右半球则与注意和空间定位能力以及情感特征相关。

虽然在裂脑人的研究中，脑功能定位仅限于所涉及的大脑半球，但是这仍然使脑功能定位的研究再次引起人们的兴趣。裂脑人的研究还对研究正常人左右脑不同功能的一代心理学家产生了非同小可的影响（Hugdahl & Davidson，2002）。正如颅相学一样，大众对这一研究非常感兴趣，可能是过分强调了两个大脑半球对正常功能所发挥的作用，由此而掀起了一股对左脑、右脑半球训练的风潮，在日常语言中也出现了诸如“左脑人”、“右脑人”的划分。对于两个半球的研究几乎成为了神经心理学的代名词。

毋庸置疑，裂脑人的研究唤醒了神经科学对于高级心理过程的研究兴趣，也为我们了解脑执行认知和情绪的过程带来了很大的希望。但是，正常人的两个半球一直有很强的交互作用，而作为研究对象的裂脑人只有极少部分在儿童期就患有顽固性的癫痫，这样就很难对正常的脑功能得出确定的结论。我们也很难确定研究方案来驳斥大众对大脑半球功能过于简单化的理解。

20 世纪中期进入这一领域的心理学研究者意识到，当时是不可能对高级心理功能进行定位的。常引用的证据有两个：第一个是对老鼠走迷宫的研究发现，学习能力的缺陷与所切除的脑组织的大小相关，而与切除的脑组织部位无关（Lashley，1929）。第二个证据来自额叶损伤的病人。有研究者认为额叶损伤并不影响智力，这说明额叶组织并非与特定的心理过程相关。

28

这些结论是在还不了解心理任务的认知研究的情况下得出的。要更好地利用脑成像的研究，我们必须要把心理过程看作是由心理活动构成的，有时候我们称为计算或子程序。心理活动似乎是局部性的，但即使是简单任务也会有大面积的神经网络参与，这些研究方法能够把功能性脑区定位同全脑激活的观点整合起来。

二、心理活动的速度

当今，由于有了高速运转的计算机，大家都认为人类的思想和行动都相对迟缓很多。但是历史上并不是一直这么认为的。在 1850 年之前，人们一直认为，人的神经传导速度至少和光速一样。19 世纪中期，德国的著名心理学家 Johannes Mueller 提出，神经传导的速度是无法测量的。他说，虽然科学家有很多方法来测量光速，但是生理学家只有动物这样尺寸有限的实验对象来测量神经传导速度。然而有趣的是，事隔一些年后，他的学生 Hermann von

Helmholtz 测量了人类的神经传导速度，并证明了神经元的从脚传输到头部的时间是可以测量的（大约为 20 毫秒，或者说 0.02 秒），速度大约是每秒 100 米。这仅仅比百米赛跑选手的速度快一个数量级。

（一）相减法

Helmholtz 测量了神经传导这样一个具体的物理现象。我们可能会认为测量思维的速度更加棘手，但是令人惊讶的是，测量它的方法不久就真的出现了。继 Helmholtz 的发现后不久，荷兰生理学家 F. C. Donders 提出了一个普遍性的测量内部思维过程的方法，这个方法被称为心理测时法（mental chronometry，Donders，1868；Posner，1978）。他用了一个非常简单的减法逻辑。假设让你在看到灯亮的时候尽可能快地按键。这个任务包含了一个指示反射。一旦接到指示，灯亮激活按键动作的方式和一个手被烫到马上抽离或者在突如其来的气流下眨眼是相同的。

29

下面，假设给你呈现两个灯，要求你对灯一作反应，而不要对灯二作任何反应。在这项任务中，你必须要在作反应之前分辨出亮起来的究竟是哪个灯。若把这个新任务的反应时跟前一个只要求对一个灯作出反应的反应时长相减，那么得出的时间就是分辨这两个灯所需的时间。Donder 从他的实验中得出结论，人们分辨所需要的时间大概在 50 毫秒左右。现在我们假设不仅有两个灯，同时还有两个按键。当灯一亮的时候按“1”键，灯二亮的时候按“2”键。在你作反应之前不仅需要辨别是哪个灯，还需要选择正确的按键。若从完成这项任务的反应时中再减去之前那个辨别任务的反应时长，那么剩下的就是选择反应这一心理活动所需要的时长了。

Donder 这一方法的成功在早期起了很重要的作用，它说明人的心理过程是可以分离出来并进行测量的。它为大家打开了一个思路，发现人的心理过程是可以从非常精确的角度来定义的。这样就促使科学家开始去寻求一种科学的方法，把复杂的思想过程同脑的神经活动联系起来。

另外，减法已经成功地用在脑成像技术上，成为对心理活动的脑区进行定位的重要方法之一。Donders 的方法当然也受到其他人的质疑。没有人能保证相减出来的就一定是某个心理过程的时间。可能从指示反射到分辨的过程中存在不止一个心理过程。更重要的是，当新的因素加进来的时候，人们完成任务的方法可能会完全发生改变。

（二）加因素法

Sternberg（1969）提出了加因素法（additive factors）来反驳这些批评，这为心理过程的分离提供了新的视角。一个认知任务可以被视为一系列累加的阶段，而这些阶段的总和就是总的反应时长。如果这项任务的认知过程确实是一项接着一项完成的话，这种线性的观点看起来确实成立。在序列发生的阶段中，如果两个变量影响的阶段是各自分离的，那么这两个变量就是可加的。比如说，如果增加刺激的强度和增加反应难度影响的是不同的阶段，那么不管反应的难度如何，刺激强度大小对于整体反应时长的影响应该是一样的。如果无论反应难度如何，刺激强度都会产生相同的影响，或者反之，那么这两个因素就是可加因素，他们所影响的是不同的阶段。如果刺激强度对反应时长的影响随着反应难度大小的不同而不同，而这两个因素之间存在交互作用，则必然影响同一个阶段。

（三）独立控制

加因素法的分析把任务分解为详尽的、互不相关的心理过程。如果几个心理活动是同时发生的，那么我们仍然可以检测到在何种程度上它们是独立的（Posner，1978；Sterberg，2004）。如果可以找到方法来控制一种心理活动而不影响其他心理活动，那么这两者在某种程度上是相互独立的。以字母名称的匹配任务为例：要求被试判断两个字母是否相同，如果一个字母是红的而另一个是蓝的，即使他们的名称一样（例如，AA），被试的反应时也会增加；但是当两个字母的大小写形式不同的时候（例如，Aa），颜色就对被试的反应时没有任何影响。若字母名称不同的时候会受到其他因素的影响，但是这个因素对于相同字母的匹配没有任何影响。这些证据说明，相同字母的配对包含视觉加工过程，而不同字母的配对加工过程不但涉及了字母名称，而且还通过语音编码来完成（Posner，1978）。

以上提到的相减法、加因素法以及独立控制法都为研究心理活动提供了方法，也有助于各种心理过程的脑区定位研究，它们可以并且已经运用于脑成像的研究中（Posner & Raichle，1994；Prce，Moore & riston，1997；Sternberg，2004）。用这些方法对阅读任务、心理表象、注意转移以及数字加工任务进行详细的分析。很多情况下，如果能够确定心理活动，就能够对获得性阅读障

碍、失算症以及注意障碍等脑损伤的性质进行清楚的预测。而脑成像手段的出现则使研究者可以进一步探明，认知心理学中这些分离心理活动的方法是否有助于我们了解正常成年人的脑区加工。

三、人脑功能成像

我们所说的脑成像研究是泛指从颅骨外部感知人类大量神经元活动的各种方法（Posner & Raichle，1994；Toga & Mazziota，1997）。要了解心理过程所涉及的特定脑区活动，我们用正电子发射计算机断层扫描（PET）和功能磁共振（fMRI）技术来研究脑的血流变化情况。在功能磁共振研究中，我们通过使用高强度的电记录方式探明特定脑区激活的时程，来研究参与任务过程的神经通路（Posner & Raichle，1994；Toga & Mazziota，1997）。

当神经元被激活的时候，他们就会改变他们自身的局部血流量。我们不知道这个过程究竟是如何或者为什么发生的，但是我们可以从脑外部来感知这些变化。所运用的最主要的两个方法是 PET 和 fMRI（图 2.1）。

31

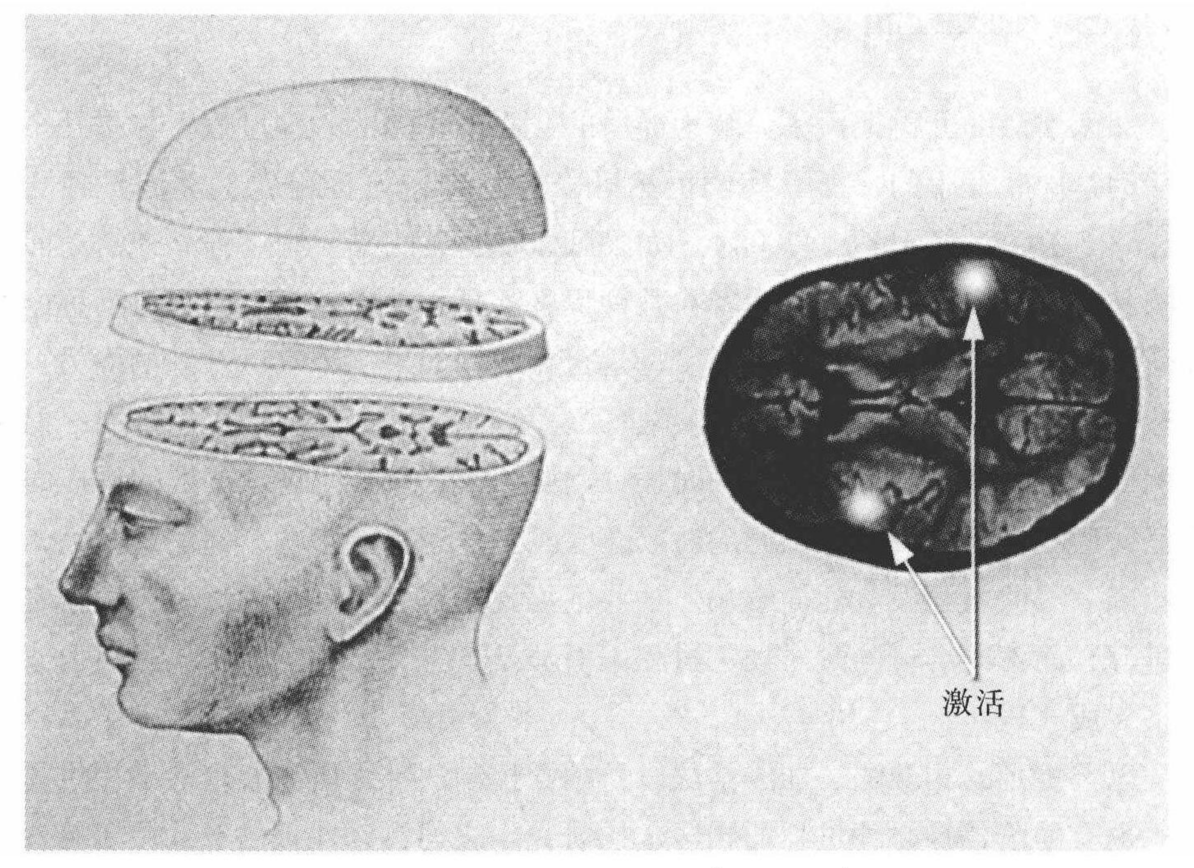


图 2.1　脑成像研究脑激活的区域。左图说明计算机如何在任务执行过程中记录脑激活的区域。右图展示的是磁共振图像，说明在两个脑半球中的两个激活区域。引自 Images of Mind（p. 19）by M. I. Posner and M. E. Raichle，1994，New York：Scientific American Books. Copyright 1994 by W. H. Freeman & Co. 经允许重印。

（一）正电子发射计算机断层扫描

正电子发射计算机断层扫描是通过对注入血液的放射性核素和放射出来的正电子颗粒进行的。在移动一小段距离的时候，这些电子就会消失，并且以光子的形式从头颅中散发出来。这些光子与排列在头颅周围的探测器发生碰撞，这些放射性事件会同步发生，这表明它们来自脑的内部，而且不依赖于任何外力。由于这些放射性元素是从血液中出现的，放射性元素的活动多少可以和这个脑区的血流活动强度相关。

最常见的运用正电子发射计算机断层扫描来研究知觉和认知过程的方法是通过氧的同位素 O15 来检测血流变化。这个同位素存在的时间非常短，即使存在的时长不到一分钟，我们也可以对其进行成像。其他正电子发射计算机断层扫描方法还包括运用同位素来检测葡萄糖的利用率（如多巴胺）或者绑定的各种受体。因此正电子发射计算机断层扫描可以解决与神经递质定位有关的所有问题。

（二）功能磁共振成像

功能磁共振成像研究将被试置于一个大的磁场中。在神经活动水平增强而改变局部供血的时候，血流的氧含量也会发生改变。因为携带氧的血红蛋白是顺磁性的，所以我们可以观察到氧的水平变化，并把它呈现为脑区激活变化的图像。大多数功能磁共振成像研究都运用这种方法。

核磁共振是医疗仪器，通过它不仅可以看到脑的生理结构，而且还可以看到完成任务过程中的脑区激活情况。血流的氧变化情况（fMRI）和脑的生理结构图像之间的自然联系（结构 MRI）不仅可以使我们看到特定脑区的生理构造（例如，大小），而且还能够看到执行任务时这个脑区的活动情况。另外，由于核磁共振对人体没有任何损伤，这样研究者就可以从一个被试身上采集大量的数据，以保证所采集的数据真实可靠。因此，功能磁共振技术被广泛地应用于许多脑功能研究中。尽管这样，由于正电子发射计算机断层扫描能够非常容易地扫描全脑的情况，而且运用放射性同位素的方法与各种化学物质进行绑定，使得正电子发射计算机断层扫描在研究中始终占有一席之地。

正电子发射计算机断层扫描和功能磁共振成像技术这两种方法相互补充。

在应用于认知研究的时候，两种方法能够提供不同角度的证据。功能磁共振成像技术的分辨率已经改进到可以把功能性激活精确定位到1立方毫米以内。这两种方法在很多任务研究中都被广泛应用于观察神经元活动（Posner & Raichle，1998）。在大多数情况下，实验所比较的两种条件只在极少的认知活动方面存在差异。比如说，比较一个静止的物体和一个相同的运动物体，与运动有关的脑区被激活，而物体的颜色和形状相同，影响就减掉了。这类脑成像研究一般会发现，在这两种不同条件中，脑皮层及皮下层神经网络的变化，这些研究的目的是要把任务所要求的认知能力同神经生理结构联系起来。

33

（三）脑成像研究的设计

随着人们行为的改变，他们脑部活动也在改变。对于脑成像研究最常用的设计是对相同被试在两个不同的实验条件下的对比，一个是实验条件；另一个是控制条件。可以用实验条件下收集的数据减去控制条件下收集到的数据，这样就可以看到在两种实验条件下脑区激活的不同。我们举个被试被动看文字的例子。如果被动看一致的字符串是从被动看文字中所提取出来的心理过程，我们应该能够看到专门加工文字的特殊区域。而事实上，我们看到脑的左侧后部和前部脑区都有激活，包括负责将字母组合成一个单元（视觉文字形式）的左脑后部区域和一部分额叶区域，这些区域的活动会随着语义任务（如命名单词的用法）的参与而增强。这个设计在对与运动、颜色以及形状相关的视觉系统脑区定位中相当有效（图1.2，以及Posner & Raichle，1994）。另一个完全不同的实验设计用的是相同的刺激物，但是要求被试关注刺激物的不同方面。关注运动的脑区激活和被动看的激活很相似，但是当要求注意刺激物的时候，所激活的脑区要比被动看的时候大一些（Posner & Raichle，1994）。

若要研究更高级的认知过程，实验设计就更为复杂了。当然我们不能指望实验条件和控制条件总是只有一处不同。比如说，希望理解单词联想是如何产生的实验任务（图1.1）。如果实验条件是要求被试说出一个单词的用途（比如，锤子是用来敲的），而控制条件只要求被试大声读出这个单词，相减的话可以消除感知和运动的成分，但是同时保存了任务所要求的注意能力以及语义加工这些因素的心理过程。人们有时候将它称为纯介入问题。这和我们之前所讨论的反应时的数据很相似，确实很难把条件完全控制起来只留下一个心理过程。但在反应时的研究中，减法只能提供一个数据，说明在不同实验条件下的

反应时差异。

在脑成像研究中，我们可以监测到整个脑的活动水平差异。比如说，我们可能知道某个特定脑区的激活与任务难度所要求的注意或情绪相关。这样即便复杂任务和简单任务之间存在几个方面的差别，我们也可以很清楚地看到脑区激活之间的差异。另外，减法也可以是双向的。

34

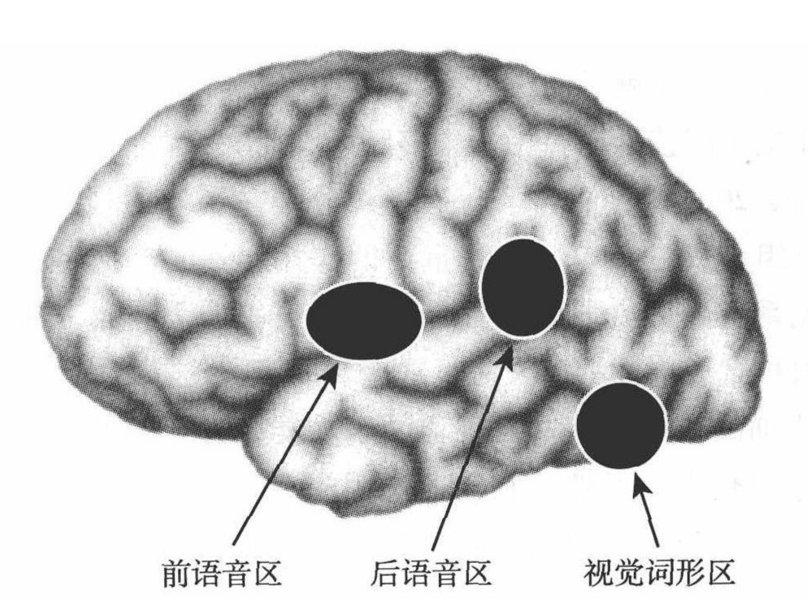


图 2.2　在阅读文字时候，左半球激活的区域（S. E. Shaywitz，2003）

有时候一个简单条件所激活的区域可能在复杂条件下并未被激活。比如说，如果我们把单词用法的数据从大声朗读单词的数据中去掉，我们发现，朗读熟悉的词汇所激活的脑区在词汇联想时并没有激活（Raichle et al.，1994）。事实上，这个脑区的损伤会导致特定言语的发声障碍（Dronkers，1996）。

（四）其他脑成像设计

之前提到的减法说明我们可以发现被试在执行一项任务中所激活的脑区（图 1.2 和图 2.2），但是减法并不是分析脑成像数据的唯一方法。联合设计（例如，Friston，Holmes，Price，Buchel & Worsley，1999）的目的是要从多个任务中去寻找相同的心理过程所激活的相同脑区。例如，我们可以通过比较运动和静止的刺激物，或者通过比较一个运动指令使被试改变状态同被试主动改变状态来观察视觉运动的脑区。有时候用同一变量的不同水平非常有效（Smith，Jonides，Marshuetz & Koeppe，1998）。例如，对于工作记忆的研究使用的是记忆库中的存储信息。为被试呈现一系列文字，其中一些是重复出现

的。要求被试如果没有看见过这个字的话就按一个键。如果看见过 N 次（例如，1 或者 3）就按另一个键。随着次数的增加，与记忆存储相关的脑区激活也越来越强烈。

35

在脑成像数据处理中同样也应用到我们之前讨论过的加因素方法（Sternberg，2004）。因此，有关心理活动的脑区定位研究方法有很多。迄今为止，人们用这种方法分析了大量类似的心理加工任务，而且在脑区定位上也达成了一致。最好的例子就是阅读文字、数字比较和注意力转移。

例如，在文字阅读的研究中，很多脑成像研究都指出三个重要的脑区位置（S. E. Shaywitz，2003），见图 2. 2。有一部分是左半球的视觉系统，这部分看起来对把字母组合成一个单元起了重要的作用。另一个区域是左侧颞枕联合区，接近听觉系统。它负责为视觉呈现的字符串命名。第三个区域是前额区域，每当要求被试说出词的意义时，这个区域都会被激活。在第七章中对这些区域有更详细的描述。这些发现说明了功能脑区定位甚至可以在脑成像下通过复杂任务而获得。另外，它们还说明阅读这个过程需要神经网络之间互相协调配合，一般包括前部脑区和后部脑区，单单依靠一个区域的工作是不行的。

如果让被试说出视觉或听觉呈现的词的用途（例如，锤子和敲，铃和响），研究发现神经网络的激活程度比单纯让他们把单词大声读出来要强烈（图 1. 1，练习前）。激活强度增加的这些区域中，左侧颞顶区与寻找相关信息、说出该词用途的有关，额区与对词义的注意有关。

（五）练习对脑活动的影响

我们也可以表明，短期学习对脑区计算活动的影响。如果让被试练习一个任务，比如，说出同一组词汇的相关用途，经过练习之后，前额叶与词汇联想有关的激活就消失了，而在阅读词汇的时候，负责自动输出结果的相关区域激活增加（Raichle et al. , 1994）。说出词的用法所激活的脑区在熟练阅读者简单地阅读一个词或者刚刚练习过与该词相关用途的任务时并没有激活。在学校课堂中，即便只有短短的时间，神经回路就会发生巨大的变化。我们可以研究具体的学习是如何影响脑发育的，这为我们了解特定课程影响脑发育的方式打开了新的窗口。

（六）神经网络的分布

在过去的10年中，我们运用脑成像技术分析了很多认知任务。如图2.1所示，我们发现认知过程一般都是由彼此独立的脑区形成分布式的网络，组成一个神经网络来完成的。在有些情况下，实验可以清楚地告诉我们每个脑区都发生了什么。在一些非常好的动物模型中，研究者通过对脑区的单细胞活动进行记录，对脑区进行更详细的分析。例如，恒河猴和人一样，是通过眼睛转动或者眼睛不动悄悄转移注意力来转向所看到的物体的。无论是在人类或是在猴子中，上顶叶都在这个过程中起着重要的作用。本书第3章中阐述的有关猴子的研究表明，侧顶内沟（lateral intraparietal sulcus）内部的传导细胞都参与觉察和转换的心理过程。一旦这些脑区确定了，我们就可以通过内植电极更深入地研究这部分的脑区活动。其他用功能磁共振技术确定脑区的方法是用脑损伤病人的数据（Posner & Raichle，1994）。同样我们还可以运用经颅磁刺激（TMS），从颅外给予小的磁刺激，暂时中断脑的神经回路。运用经颅磁刺激技术可以检测，干扰特定脑区的活动是否会改变其行为（Ro，Farbem & Chang，2003）。

很多脑成像研究结果都说明，心理活动是局部性的，但是由于很简单的任务都涉及了脑的神经网络，这些研究发现使功能定位的观点与脑整体活动之间的关系越来越趋于一致。

（七）神经网络的同步活动

在脑成像研究中有一个共同的发现：任何一个任务都可以激活神经网络，包括前脑区、后脑区以及皮层下区域。那我们怎么研究这些事件发生的时间进程呢？以血流变化为依据的方法时间分辨率不高，因为神经元需要花上几秒的时间来改变其血流供给。但是，对于同样心理过程的认知研究清楚地表明：期间的心理过程是在十到数百毫秒的时间段产生的。

在研究实时情况下脑神经网络区域究竟是如何被激活的，研究者从头皮上记录了在时间上锁定的刺激事件的脑电活动（事件相关电位法，ERP）。事件相关电位技术在心理学中一直用于精确的计时研究（Posner，1978）。图2.3就是两个戴着事件相关电位帽的人，帽上有大量的电极，可以在很多电极上进行记录。



图 2.3　探测脑电波的电极。将大量电极放置于头上，来检测目标呈现时，一定时间区域内的脑电流活动。事件相关电位的研究结果可以与功能磁共振成像的研究结果结合起来。

37　在刺激呈现后，每个电极都记录脑区的电流变化。如果重复呈现一个单词，对每个电极的电波活动进行平均，我们可以得到这个刺激呈现时整个脑的电波活动的图像（图 2.4）。这样我们就可以以毫秒为单位来观察这个刺激的影响了。图 2.4 中最底部的记录就是这些刺激呈现的事件相关电位的平均值。

（八）脑电图和功能磁共振成像扫描的结合

由于新的事件相关电位技术可以同正电子发射计算机断层扫描和功能磁共振数据结合起来，从置于头皮的电极来确定脑区位置的方法就有了极大的改善。功能磁共振技术的应用提供了脑的激活区的精确信息，这些脑区可能是所记录的脑电活动的来源。由于现在基于正电子发射计算机断层扫描和功能磁共振的研究，我们可以知道特定任务可能激活的脑区在哪儿，这个信息可以用于限定从头皮记录的脑电波来推断脑激活区的任务，因为头皮记录的脑电活动可能会由于电极和电极之间的头皮组织而产生偏离。在把事件相关电位方法应用于脑成像数据的时候，通过功能磁共振所提供的范围来预测特定任务中所激活的头皮表面脑电波的信号位置非常有效。这些预测可以与获得的头皮信号相比较，来检验脑激活区域是否与头皮上的脑电波分布一致。

38

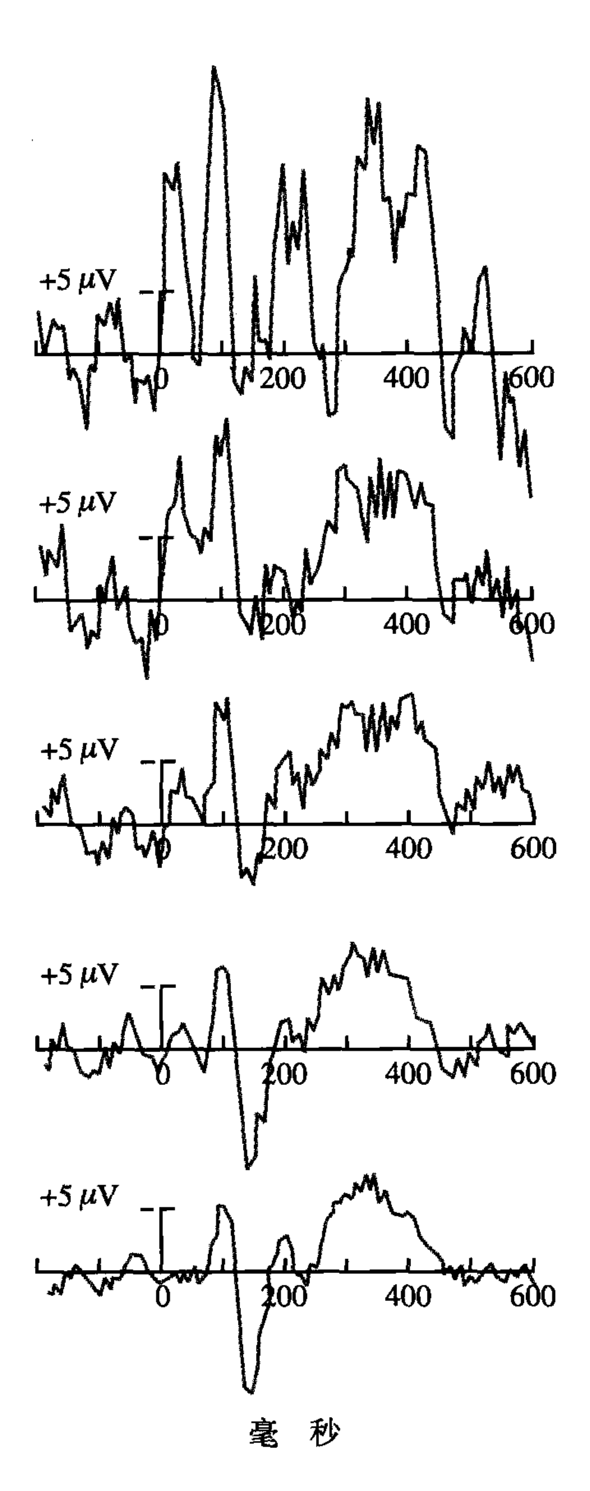


图 2.4　一个电极的事件相关电位的记录结果，1，2，4，8 次或 16 次任务的平均值（从上到下）。正负偏移都被称为事件相关电位的组成部分。

有很多用相似任务比较功能磁共振和事件相关电位技术的研究都很成功。 39
其中一个很有意思的研究是视觉系统成像（Clark & Hillyead，1996）。比如说，视网膜的位置和神经活动的位置关系最初是用来证明正电子发射计算机断层扫描血液流动研究的，现在用来证明头皮电极传导的脑电波分布同样可以符合这样一个模型（Clark & Hillyard，1996）。同样地，刺激物移动时候事件相关电

位技术产生的电波信号和之前在正电子发射计算机断层扫描研究中激活的区域位置相同（Ffytche，Guy & Zeki，1995）。在更复杂的认知任务中，包括在对文字（Abdullaev & Posner，1998）和数字（Dehaene，1996）的处理过程中，这些研究方法足以让研究者观察到被试在执行任务中确定某个时段的生理反应。

有一个对视觉注意的研究同时采用了正电子发射计算机断层扫描和事件相关电位的两种方法，并且用的是同样的被试与同样的认知任务（Heinze et al.，1994）。实验中屏幕两边同时出现一系列的刺激物，任务要求被试报告在屏幕的一边出现的刺激物（视觉注视点的左边或是右边）。当被试注意力集中于屏幕的一边时，这就是这边刺激呈现的实验条件，而相应地，关注另一边的情况就是控制条件。正电子发射计算机断层扫描和事件相关电位技术都发现在被试注意力集中时，对侧脑区的梭状回（视觉系统的一部分）激活。但是，两种方法所确定的脑区相差却有 1 厘米。这些差异可能是由于两种方法检测的是神经元活动的不同方面，也可能说明了两种方法的固有偏差。虽然我们不能说明两种方法的精确联系，但是两种方法的结果应该大致一致（例如，误差在 1 厘米以内）。

对于人类技能非常重要的高级任务，正电子发射计算机断层扫描和功能磁共振研究基本上都采用了相同的减法以及任务形式。这些研究在本书第七章中进行了详细地讨论。它们都表明，头皮活动的每个发生源都能够找到证明，并且提出了与之对应的特定时间进程。有时候这些时间进程数据对于分析一个认知过程起着至关重要的作用。例如，在完成词汇联想任务的时候，被试要大声朗诵看到的单词，而他所联想到的词汇要与这个呈现的单词作比较，这时候所需要的额外的注意力会在大约 150—200 毫秒的时候激活额叶负责注意的区域，在 450 毫秒颞顶区域被激活前，储存单词语义信息的区域会被激活。这个研究发现说明，注意力会限制语意搜索能力。我们尤其是在了解像阅读（第 7 章）和数字加工（第 8 章）的时候，对特定时间区域的数据要求非常高。

对心理过程的时间进程研究能够让我们知道这些认知过程的先后顺序，从而帮助我们了解这些内在的神经回路。但是，我们也可以通过对激活脑区之间的相关性研究来进一步了解这些认知过程。尽管某些穿透头皮的容积传导可能会使相邻的电极产生相关性，但是距离比较远的电极之间的相关性可以说明信息是在这两者之间进行传导的。功能磁共振和脑电波的数据都被用来研究这些相关性，来试图发现在什么时候信息传导到了哪些脑区。

40

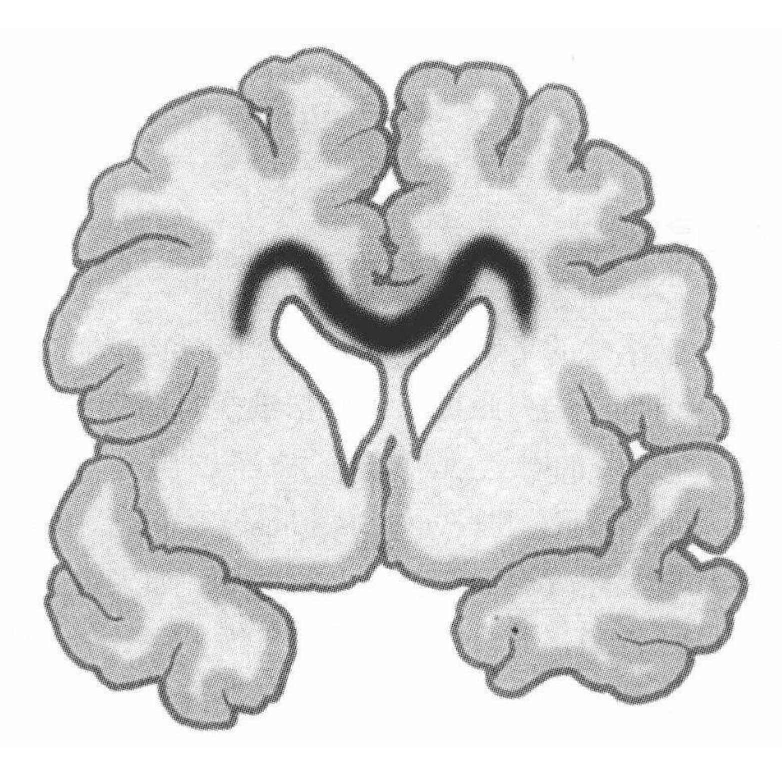


图 2.5 运用扩散张量成像技术来追踪大脑半球之间的联系（黑线）。黑线表示连接脑的两个半球的胼胝体纤维束。引自“Tracking Neuronal Fiber Pathways in the Living Human Brain.” by T. E. Conturo, N. F. Lori, T. S. Cull, E. Akbudak, A. Z. Snyder, J. S. Shimony, et al., 1999, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 96, P. 10423. Copyright 1999 by National Academy of Sciences, USA. 经允许重印。

有时候我们也可以直接通过扩散张量成像技术来研究不同脑区间脑白质的关系。这些成像方法采用的是核磁共振成像，但是检测的是水分子的扩散程度，这些水分子一般是跟白质区域一致的，而且可以成像（图 2.5）。在发展研究中，我们可以把扩散张量成像技术同高强度的脑电波活动结合起来，来检测相距较远脑区的脑白质具体是在什么时候形成第一次联系的，它们又是在什么时候参与任务过程的。

41

四、脑的发育

人类早期行为上的变化显而易见。婴幼儿依赖于监护人来获得刺激，但是在 3 岁之前，他们开始独立起来，而且形成自己的性格。这些行为上的变化究竟是什么原因造成的呢?

脑的一系列明显的发育可能是导致这个结果的重要原因。对于早期夭折的婴幼儿研究发现，生命早期脑的变化非常大。人类出生的时候，大脑皮层上方只有少量的细胞，1 岁期间很多细胞进入上层组织，幼儿就会出现很多行为。

这些研究主要集中在眼动和注意的定向方面，我们在本书第3章将进行详细地论述。

（一）突触密度剧增

如果仅凭对两个脑半球的了解不足以为教育我们的脑制订规划的话，那么发展神经生物学的知识也许能为此提供一些帮助。对动物的细胞学研究发现，从出生到3岁期间，冗余的神经元决定了神经细胞（突触）之间的连接（Rakic，Bourgeois，Eckenhoff，Zecevic & Goldman-Rakic，1986）。大约3岁的时候，突触的密集程度突然减少，降至成人的水平。如果因此推断突触越多就意味着它们之间的联系越多，那么出生后的前3年一定是学习的关键时期。从这个观点来讲，从出生到3岁这一个阶段一定要进行学习，否则会错失影响脑网络发展的机会（Bruer，1999）。

但是人们很快发现，突触的删除大多数是在青春期后发生的（Huttenlocher & Dabholkar，1997）。另外，突触的数量多少和学习能力之间并没有很清晰的联系。事实上，越来越多的神经科学证据表明，即使是最初级的感知觉系统的发展也要持续到成年期（Merzenich & Jenkins，1995）。那种认为出生到三岁之间是学习关键期的说法在这些证据面前站不住脚。当然这并不是要否认早期经验的重要性（注意之前讨论过的Bruer的观点），我们想强调的是，如果要把脑同教育联系起来，并非取决于必须把细胞层面上的变化和特定的教育结果广义地结合起来。相反，我们需要一些系统研究的方法，以了解研究者所感兴趣的学习与支持这一学习的相应脑机制之间的关系。

行为改变的一个根源，至少是在青春期后的行为，可能是由于修剪掉不再需要的神经元和突触。比如说，儿童时期不同的感知系统之间有很多联系，而这些联系在成人之后又消失了（Maurer & Maurer，1988）。

（二）纵向核磁共振研究

尽管目前还没有在人类活体内追踪细胞活动的好方法，纵向核磁共振研究为儿童时期的大脑皮层提供了很好的数据（见智力与效率一节）。结构性核磁共振研究也显示儿童随着年龄增长脑白质有所增加。我们认为这些增加是由于联结不同脑区的纤维形成了髓鞘，从而提高了这些区域脑电波活动的传导性。

用扩散张量成像的方法可以观察到整个儿童时期脑联结之间的变化，从而

了解到它们在婴幼儿及儿童的行为变化中起了什么样的作用。若把扩散张量成像同脑电波记录的方法结合起来，我们可能知道在一项任务中，不同的参与脑区是什么时候联结起来的。这个知识可以构建一个理论，来指导如何最有效地让儿童掌握一项专门的技能。

功能磁共振成像的方法并不经常对年纪非常小的幼儿使用。正电子发射计算机断层扫描有放射性辐射，所以一般 18 岁以下禁用。尽管功能磁共振成像的方法可以安全地应用于婴儿（Dehaene-Lambertz，Dehaene & Hertz-Pannier，2002），但是在任务过程中对他们的动作要有严格的控制，6—7 岁之前的孩子在这方面会有很大的困难。随着技术的提高，儿童使用这些仪器的可能性会有所提高。但是目前情况下，只有通过头皮记录脑电波的方法才能对儿童进行系统的研究。

（三）行为和脑电记录研究

研究看到了很多我们从行为上不能直接观察到的脑的系统发展的关键问题。比如说，6 个月大的婴儿虽然还不能使用语言，但是他们会内隐地习得母语中很重要的方面（Kuhl;，Tsao & Liu，2003）。婴儿天生就能辨别任何语言中最基本的音节（音律）。我们从他们的行为变化中就可以看到这一点。如果同样一个音节重复出现，他们会对此适应，表现为他们不再看这个发声源或者不停地吮吸奶嘴。如果这个声音改变了，婴儿会转头或者停止吮吸，表示婴儿注意到了，或者是分辨出了声音的变化。非常小的婴儿甚至可以分辨出本族语言的成人不能分辨的声音变化。脑电波记录的研究表明，相对于其他语言来讲，6 个月大的婴儿分辨本族语言的变化更容易一些。采用婴儿习惯化的研究方法，研究者还发现，婴儿天生就具有有关物体、自身以及数字本质特性的核心知识，而且还在一定程度上了解人的意图（Premack & Premack，2003；Spelke，2004）。尽管我们很难用功能磁共振的方法来研究婴儿的行为，但是对 3 个月大婴儿的语音认知研究发现，他们的神经系统和成人的激活很相似（Dehaene-Lambertz et al.，2002）。

（四）标记任务

当我们不能直接用脑成像的方法对婴幼儿进行研究的时候，研究者就用标记任务来进行发展性研究。标记任务是简单的行为任务，成人在做这些任务的

时候需要一些特定的脑区参与，或者是这些系统中特定部分。对这些任务完成能力的跟踪调查可以让我们知道这些系统或神经网络的发展情况。

Adele Diamond 的研究即是一个很好的例子，该研究包含了“非 A 即 B”和伸手够物的任务（reaching task）。这两个标记任务都需要对当前情境所诱发出来的行为加以抑制。在“非 A 即 B”的任务中，实验者首先重复强化婴儿从 A 位置取物的正确性，之后将隐藏物体从 A 位置转移到 B 位置（Diamond, 1991）。在伸手够物的任务中，婴儿看到的玩具摆放位置和之前一直引导他去够物的指示线索是冲突的。把玩具放在纸盒子下面，盒子是打开的（可以从前方或者从后方开），只有当婴儿抑制直接沿着视线从盒子的透明面取物的意向时，他们才能拿到玩具。6—12 个月大的婴儿在这种任务上的表现有很大的变化。对猴子、脑损伤病人以及婴儿的表现进行比较，我们发现这些任务和前额叶相关，这个脑区的成熟度在这种形式的抑制能力的发展中起了关键的作用。这点在本书第 3、第 4 章有详细论述。

（五）脑结构和功能的个体差异

总体心理特征和个体功能性差异一直是心理学范畴中两个不同的方面。但是因为人们生下来就不同，研究神经网络发展的共同特点以及他们之间差异的研究方法就格外重要。我们现在有越来越多的新方法来探测这些人与人之间的不同。

1. 形态

这个方法最初是通过 X 射线来完成的，但是现在是通过对以水的形式存在于身体的氢分子进行磁共振扫描。磁共振图像能够展现出脑的结构图，这样神经学家就可以探索中风、脑瘤以及脑萎缩后的脑变化。科学家也可以通过这些方法来观察个体的脑结构。尽管人脑看起来很相似，但哪怕是双胞胎的脑都各有差异。形态学让我们可以去观察这些细微的不同，把脑的大小，或者结构形状的不同与个体差异联系起来。但令人惊异的是，无论生理结构有多大的差异，每个人的高级心理过程运行的方式是相似的，这样我们就可以总结出大致的规律来。显然在很多任务中，脑的工作方式都很相似。形态学也使我们可以看到，随着年龄的增长脑结构的发展或者特殊经验对脑结构的改变。

2. 智力和效能

个体差异可以表现在个体的相关能力上面。例如，在本书第一章讨论过，智力测验成绩可以推断儿童在学校的学业能力的高低。因此，科学家一直在找个体之间脑方面的差异。核磁共振的应用让我们可以精确地测量不同脑区的大小和形状，之后可以计算整个脑的体积。

在一项对100个5—17岁正常儿童的研究中发现，脑灰质的总量保持恒定，而在这期间可能是由于髓鞘形成的原因，脑白质的总量有所增加（Giedd et al.，1999）。当把整个脑体积同智商联系起来的时候，会形成一条曲线。脑体积小的时候智商会急剧增长，达到较高的脑的平均水平。如果只考虑额叶部分，其线性相关值是0.45，能够推测智商变化的20%。 45

这些研究结果说明，脑相关区域参与心理加工的程度可能和一个人的行为表现能力相关。对猴子的研究结果表明，让这些猴子持续训练，它们参与特定感知（例如：特定的手指）的脑组织数量会随着对这个手指的训练而有所变化（Merzenich & Jenkins，1995）。从另一方面来讲，由于中风或脑损伤所引起的脑组织缺失会影响那个脑区参与认知任务的能力。生活环境好的动物脑的皮层相对较大。还有研究报告说，经过长时间的联系，比如说弹钢琴，会使脑相关部位的皮层数量增加（Elbert，Pantev，Wienbruch，Rockstroh & Taub，1995）。这些研究在一定程度上表明，在某些情况下，脑区的相对大小很重要。

但是我们还需要更深入地探索在发展过程中特定脑区大小的重要性。也许相对于其他变量，例如脑区之间的联系或者脑结构来讲，脑区的大小只是一个次要因素。

3. 遗传

行为的神经元网络发展取决于基因和后天的影响。基因本身并不能产生行为。行为是我们之前讨论过的神经网络和环境之间的交互作用。但是，基因确实决定神经元网络的基本结构，它们决定了组成神经系统的蛋白质构成。基因决定了染色体的构成，进而形成一个人的基因本质。在一人的一生中，遗传指令并不会改变，但环境可以影响特定神经网络的基因表达形式。

尽管人类的基因组大致相同，但是细微的差别可以影响神经调质的活动数量，如去甲肾上腺素或者多巴胺，从而影响一个人的行为特点。个体的基因组可以通过分子生物学的标准方法，从血液或者组织中提取少量DNA来 46

进行检测（Fosella & Posner，2004）。认知基因学才刚刚开始从基因的不同类型的角度来研究个体智力或气质的差异。尽管如此，对动物和人类的研究都表明，人们在适应不同的环境中所表现出的差异都可以用基因的不同来解释。

4. 气质

气质是指个体间反应性和自我调节能力之间的差异表现，我们认为它是有生理结构基础的（Rothbart & Derryberry，1981）。结构是指：

> 器官的相关生理构成始终受遗传、成熟以及经验的影响。反应性是指机体的行为和生理系统的可兴奋性、反应性以及可唤醒程度；自我调节能力是指适应反应条件的神经以及行为过程。（Rothbart & Derryberry，1981，p. 40）

每个新生儿天生都对其环境有特定的反应能力。如家长常常能看到，不同的婴儿早期对不同的事物反应各不相同。有的婴儿很容易出现沮丧情绪，注意力集中时间很短，容易哭闹，而有的婴儿可能在枯燥的游戏中都能发现很兴奋的事情。这些对环境的不同反应以及他们的自我调节机制就构成了婴儿的气质。随着经验的积累，气质就变成了年龄大一些的儿童以及成人的不同人格。简单的气质分类包括恐惧、愤怒—挫折、正性情绪—趋近（外向）、活动水平、知觉敏感性以及注意力集中程度。这些分类以及接受安抚的能力就构成了早期的气质特征。

人的气质本质是由基因决定的，但同时也会和经验环境相互影响。图 2. 6 表示的是儿童时期的三种主要气质类型及其与两种文化的相互关联。一般而言，内外向性和负性情绪在不同文化中都是发展得较早的维度。意志控制则在所有文化中都会出现的、发展得较晚的维度（第 4 章），它对于自我调控的发展至关重要。

但是这种调节是如何发生的可能具有文化差异。在多数西方社会，如美国，外向受到重视，意志控制与较低的负性情绪有关。但是在中国，努力控制似乎更多地与外向倾向的调节有关，也许是与其强调保守的文化传统是一致的。气质研究的一个重要目标是阐明生物水平的过程，这可能会通过社会化的发展而与成年时期的表现产生联系。

47

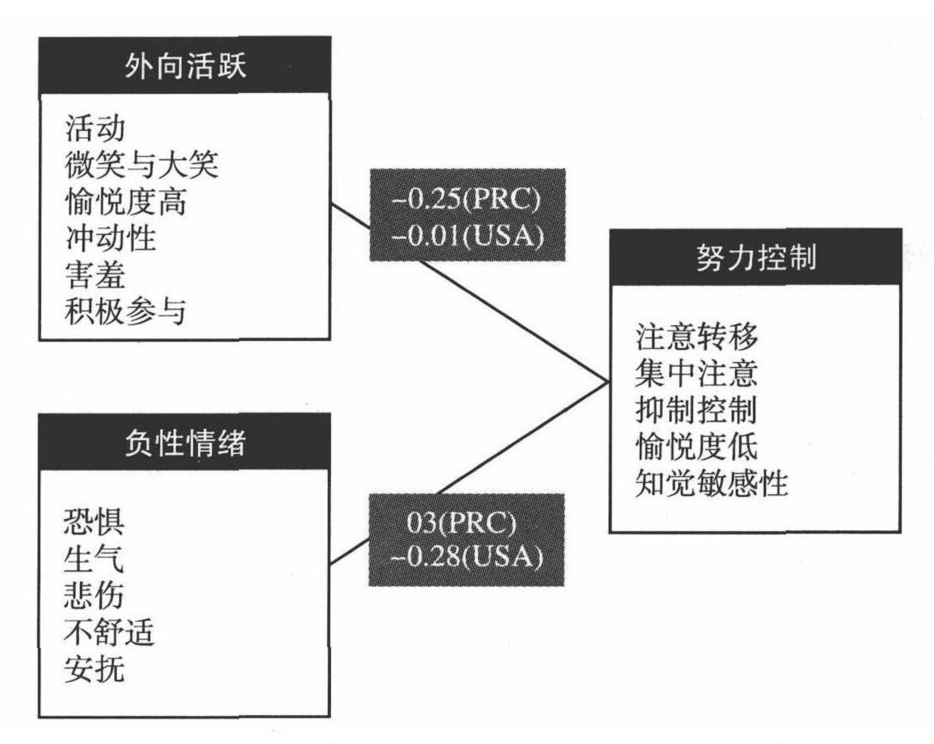


图 2.6　努力控制在两种文化中调节人格的作用。在美国，努力控制用来减少负性情绪的消极影响，但是在中国，努力控制用于减少积极情绪（外向）的影响。该表说明两种文化中对一个机制的使用方式不同（Ahadi Rothbart & Ye，1993）。图中 PRC 代表中国文化，USA 代表美国文化。

气质本身是发展的，也就是说，情绪与情绪的维度在不同年龄段出现（Rothbart & Bates，2006），与运动功能、唤起系统、注意系统一样（Posner & Raichle，1994）。在某种程度上，婴儿主要是反应性的，早期发展包括在这种反应性中增加自我调节的能力（Rothbart & Derryberry，1981）。恐惧系统包括了行为抑制，出现在出生的第一年（第 6 章）。努力控制出现稍晚，在出生的第二年，与执行注意系统同时出现（第 4 章）。努力控制大体上似乎就是自我调节，对于人格的发展具有重要的启示（Kochanska & Knaack，2003）。

48

气质领域研究中遇到的最大问题是每个研究者对气质变量的命名不同，即使他们研究的内容很相似，叫法却不同。这种情况致使气质研究的主要问题都无法达成一致。有时候名称的不同确实表达了研究之间的差异，但气质研究中有很多特质是相同的（Rothbart & Bates，2006），气质量表和人们观察到的成人人格特质，一般叫做大五人格因素都很相似（外向性、随和性、责任感、神经质和开放性）。

随着越来越多的研究把气质类型的不同方面同脑结构（第 5、第 6 章）以及基因联系起来，气质的研究将变得越来越重要。研究结果一致发现，杏仁核对恐惧反应起了重要作用，研究主要通过对动物的恐惧条件实验，以及在对成人的脑成像研究中发现恐怖脸孔能够激活杏仁核。同样也有很多研究把人格气

质同基因联系起来。比如说，多巴胺受体4（DRD4）基因和感官刺激寻求相关（本书第5章）。我们现在开始趋向于从基因、脑区以及行为之间的关系来研究个体差异。

5. 神经网络的效能

我们现在可以研究神经网络效能的个体差异，这些神经网络可能是造成个体间气质差异的关键原因。这一测查包括了采用标记任务，注意也为执行这一测查过程提供了很好的机会。图2.7表示的是，在一项研究中，三种不同的测查注意神经网络的方法，叫作注意网络测验（ANT）。任务要求被试尽可能快地报告屏幕中间所呈现的箭头指向是左还是右。有时候这个目标箭头是单独出现的，没有干扰因素，但其他情况下目标箭头会被其他箭头包围，这些侧面的箭头有时候和目标箭头的指向一致（一致条件），有时候不一致（不一致条件）。在不一致条件下，如果干扰箭头离目标箭头很近，被试就必须解决这种趋向冲突。另外，解决这些冲突所需要的时间长短能够检验与冲突解决有关的注意神经网络的有效性。

即使在这样简单的认知任务中，解决冲突的能力也和儿童时期的自我控制能力相关。尽管实验采用了对婴儿监护人的问卷调查形式，但这些方法并不能用于检查所涉及的神经网络或是基因。这种把问卷调查同简单的标记任务研究联系起来的方式，能够把人们日常的行为同影响他们行为的神经网络联结起来。这些在本书第4—6章中有详细论述。

50

注意网络测验还能检测到警觉和定向的效能。在目标物出现之前，会有一个提示出现，提醒被试目标将要出现。这个提示的出现会让被试进入警觉状态。由于被试警觉的时候，其反应时间会相对缩短。如果把有提示出现的反应时和无提示出现的反应时相减，我们就得出被试由警觉而减少的这段反应时间。另外，这个提示符号一般出现在目标物的位置，可以在屏幕的上、下或是屏幕中间。如果把提示符号出现在目标物位置的反应时同提示符号出现在其他位置的反应时相减，我们就可以得出被试注意力转移到目标物的时间。这个减法就可以得出定向效能的分数。

注意网络测验是测查注意系统有效性的一个实验标记性任务的例子。它也可以和功能磁共振研究结合起来。图2.8表明，测查的三个注意神经系统中所影响到的脑区。研究要求被试在扫描过程中执行这些认知任务。采用我们之前讨论的减法，我们可以勾画出每个神经网络。另外，之前对灵长类动物和啮齿动物的相关任务研究也证实了每个神经网络所涉及的不同脑区。这为把注意网

络测试同神经系统联结起来提供了强有力的证据，同时也证实了注意网络测试可以用作标记任务。

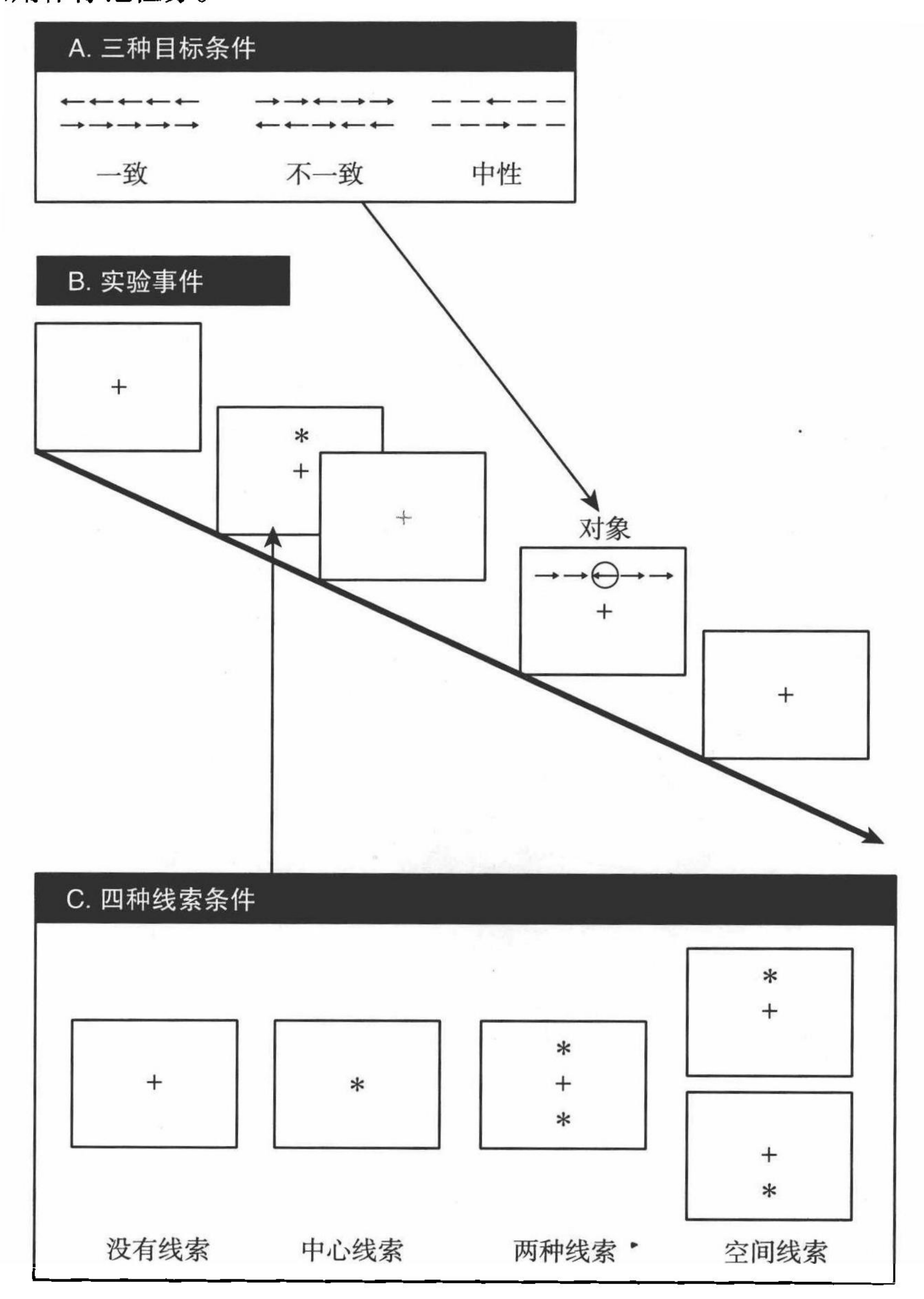


图 2.7　注意神经网络测试图示。任务要求当被试看到中间的箭头指向左边的时候按左键，指向右边的时候按右键。箭头周围有干扰项指向同一方向（一致条件）或相反方向（不一致条件）。在目标呈现之前，会有提出符号出现，提醒被试目标将在何时、在什么位置出现。摘自"Testing the Efficiency and Independence of Attentional Networks" by J. Fan, B. D. McCandliss, T. Sommer, M. Raz, and M. I. Posner, 2002, Journal of Cognitive Neuroscience, 14, p. 341. Copyright 2002 by the Massachusetts Institute of Technology. 经允许改编。

6. 气质和行为遗传学

我们很早就认识到了动物气质的遗传性。事实上，很多动物种属有不同的个体特征，特别是恐惧这一特征（Broadhurst，1975；Brush，Gendron & Isaacson，1999）。但是我们也要注意到，即使某个行为特征是遗传的，也会受环境或经验的影响。

分子遗传学研究发现，单个基因就可能影响复杂的行为（Gerlai，1996；Kieffer，1999；Wahlsten，1999）。Young 和他的同事（Young，Nilsen，Waymire，MacGregor & Insel，1999）报道了相对非社会化的田鼠迁移到群居氛围中的遗传变异。他们对不喜好群居活动的田鼠进行实验，提升了它们脑区的血管加压素受体的数量，改变它们的基因水平，让它们在行为上更像社会活动性非常强的草原鼠类。

51

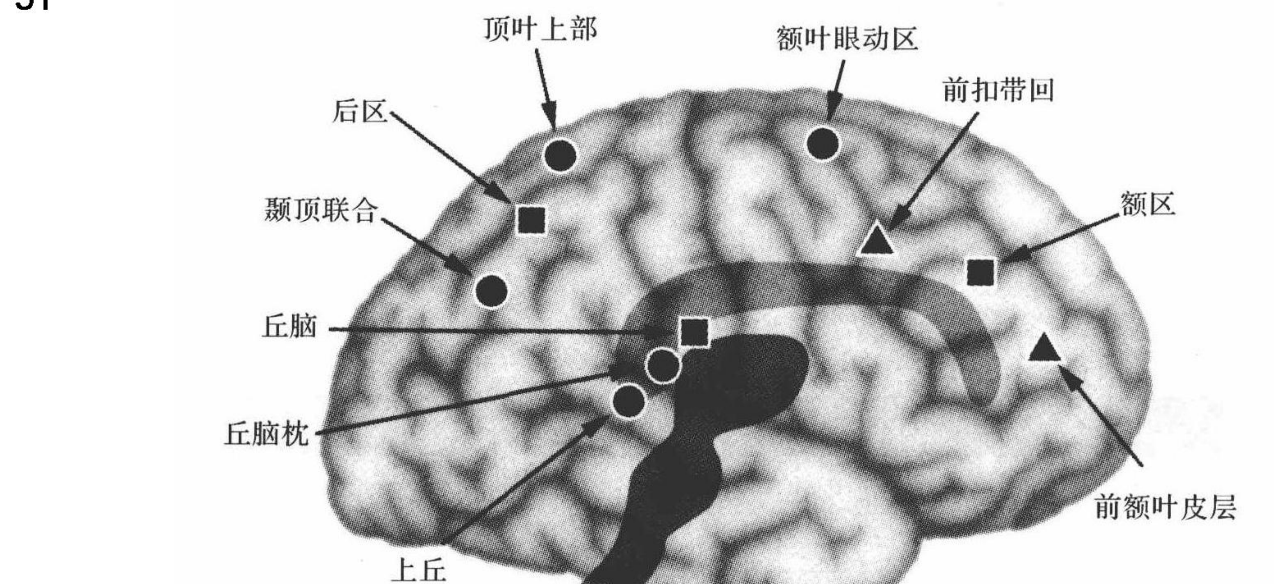


图 2.8　三种注意神经网络激活的脑区。警觉网络（方块）包括丘脑和去甲肾上腺素系统相关脑区的皮层。定向神经网络（圆圈）主要在顶叶（在文中讨论过），执行网络（三角形）包括前扣带回和其他前额叶区。

另外一个研究是从雌鼠中去除一个基因（这个研究去除的是致癌基因 fosB）。这些老鼠生育过后，其抚育能力都有大幅度的降低（Brown，Ye，Bronson，Dikkes & Greenberg，1996）。当从动物基因中去除雌性激素的时候，它们几乎都没有性冲动了（Pfaff，1999）。但是这些动物模型研究所遇到的问

题是，出现的这些行为改变可能是因为在发展早期的补偿影响（这些动物终其一生所有细胞里都缺失了被敲除的基因）。但是现在随着科技的发展，根据情况在不同发展时期敲除基因的可能性越来越大，这样就可以避免之前的研究中出现的一些问题。

7. 人类遗传学

人类行为遗传学的研究主要是针对各种障碍人群（例如，发展性阅读障碍、精神分裂、注意缺陷多动症）。一般情况下对每种障碍的定义都包含很多行为表现。尽管如此，所采用的家族研究和双胞胎研究方法已经证明了一些障碍的高度遗传性。在智商、个性特征，例如害羞、积极和恐惧等方面，遗传因素起了很重要的作用。遗传评估对于智力或者害羞、外向和恐惧等气质特点都相当重要。

有时候相同的基因变异可能一方面和障碍相关，另一方面同正常气质相关。比较典型的例子是 DRD4 基因。这个基因具有多态性，它有 48 组碱基对，在其基础上有不同形式的重复。7 次重复基因 DRD4 基因与儿童时期的注意分散以及多动症相关，同时它还和正常的外向气质中的感官刺激寻求相关。要进一步了解基因和变异之间的关系，我们要深入了解正常注意的基因类型。 52

从注意网络测试中发现的个体差异为我们提供了一个很好的途径。其中的逻辑很简单，与注意神经网络有关的神经调质是多巴胺。因此，影响这个神经调质的基因就与这个神经网络的效能相关。要检验这个观点，我们可以从参加注意网络测试的被试身上抽取 DNA，假如测定注意缺陷多动症中的 DRD4 是否与注意网络测试中测得的冲突分数相关。这个研究测查了好几个候选基因，研究结果在本书第五章中有详细论述。

五、小结

对于教育方法的发展而言，观察脑活动的意义重大。虽然我们不能对每一个孩子都进行脑成像研究，不能看到他们在阅读、写作或是做数学题的时候究竟是哪些脑区在活动，但是我们的抽样研究可以说明在学校学习任务中儿童所用的是共同脑区。我们也可以借此确认无法顺利执行这些任务的人一般缺少了哪些脑区的激活。通过脑成像研究，我们可以看到哪种训练对于提高相应脑区的激活度最有效。这个方法可以让我们发现和整合各种用以改进成绩的训练方法。

本章中，我们总结了有关认知和情绪神经网络研究的新方法。成人的研究主要是通过功能磁共振和正电子发射计算机断层扫描的研究来观察任务过程中的激活脑区。这些研究为心理过程提供了精确的脑区定位。在很多研究中，脑的激活区和人类认知网络的组成部分相连。

通过高精确的脑电记录方法，研究者可以获得这些生理区域激活的时间段，由此可以了解任务过程中的详细通路。这些通路可以通过动物模型来检验，或者通过某一环路受损的病人以及通过磁刺激中断神经回路的方法来进行。在本书的后面章节中，我们会讨论如何通过这些方法来检测婴幼儿的神经网络发展。在本书的第 3、第 4 章，我们主要讨论注意的神经网络；在第 7—9 章，我们讨论与学校课程相关的神经网络。

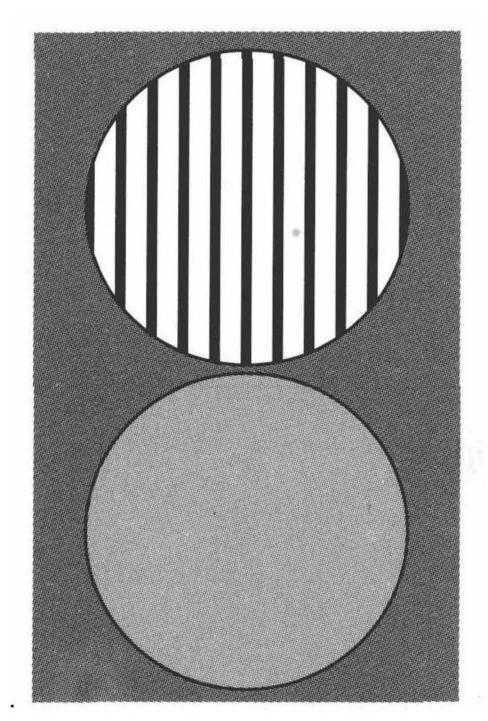
在心理学中，用于研究与认知和情绪相关的心理过程的实验方法和个体差异的方法总是相互分离的。一个关注的是和认知以及情绪功能相关的一般心理属性，另一个关注的是同样功能的个体差异分析。新的研究方法通过对这些神经网络发展的研究，把这两者结合起来。这个发展过程受基因和经验的影响。基因在人类神经网络之间的共性上起了决定性的作用。我们人类的基因都是一样的。但是基因也同样造成了我们的神经网络操作效能性上的差异。这些基因上的差异或多态性可用于解释个体在脑及其所支持的神经网络上的差异。另外，个体行为也与儿童在社会化过程中的经验相关。在本书第 5 章，我们总结了基因和经验究竟是如何塑造注意神经网络发展的研究数据。

第三章

学会注视

日常生活中，很多社会技能都依赖于注视的方向和持久性。注视的方向标志着一个人的兴趣导向，也常常反映了社会统治和社会服从这一模式，并且还暗示着最有可能收集到重要信息的地方。作为人类，当我们从一个令人困扰的情景中移开视线时，我们用“注视”来调节我们的情绪。当我们因思考而从一个可能的分心物上移开视线时，我们用“注视”来调整我们的认知状态。不过即使作为成人，我们也常常意识不到这种影响，但是当不同的规则发挥效用时，我们便可以意识到这种影响，正如我们接触到一种不同的文化时可能发生的那样。这些事实都顺理成章地说明了一个道理：在早期婴儿阶段，训练婴儿和看护人的注视方向，是一件很重要的事。

婴儿来到世上时，只有脑皮层的最深层已发育好。生命的第一年后，细胞迁移到了更加表层的地方，这为形成视觉和其他功能之间连接的新通路设置了舞台。除此之外，视觉、听觉和其他感觉通道两两之间的界限并没有最终稳定地确立（Maurer & Maurer，1988）。在生命的第一年中，视觉系统经历了显著的发育成长，如日益增长的视敏度（Gwaizda，Bauer & Held，1989）、自觉控制“看哪里”和“看多久”的能力以及与吸收感觉信息有关的注意的其他方面等（Johnson，Posner & Rothbart，1991）。婴儿也同时显示出对人脸和其他可视物体的再认。此章中，我们将会讨论在婴儿期定向功能的早期发展。



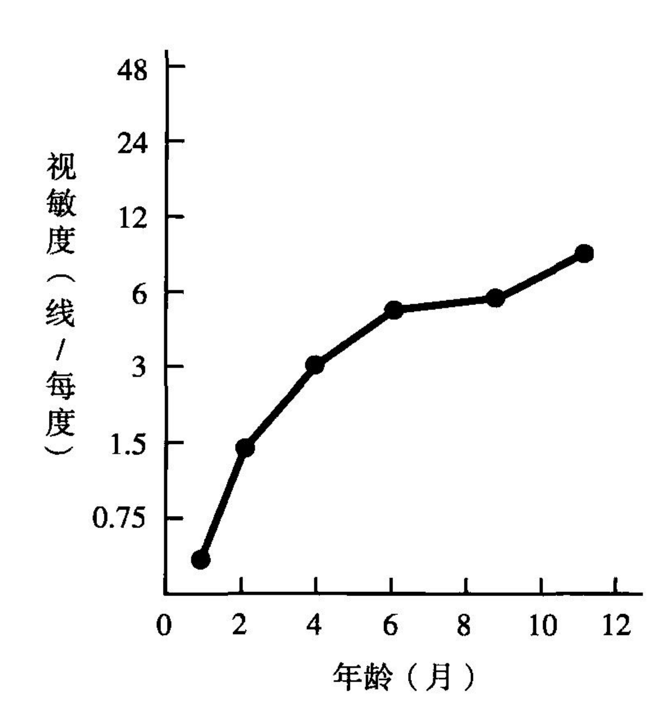


图 3.1 测量婴儿的视敏度。图的左上角显示了一个格栅。随着竖线越来越细（越来越高的空间频率），婴儿将格栅和左下方均匀的灰色图案区分开来的能力逐渐下降。图的右侧显示了格栅视敏度的逐月增长，在婴儿 1 岁的时候接近成人的水平。引自"From Visual Acuity to Hyperacuity：A 10-Year Update" by J. Gwaizda，J. Bauer，and R. Held；Canadian Journal of Psychology；43，p. 112. Copyright by Canadian Psychological Association. 经允许改编。

一、视敏度

图 3.2 描述了在出生的第一年视敏度（察觉细微差别的能力）逐月提高的情况。有一种形式的视敏度（格栅视敏度）能显示婴儿辨别出黑色细条纹的能力。如果在黑色条纹和纯灰色两种图案中作出选择，婴儿更喜欢看条纹。较高空间频率（单位面积条纹更多）的刺激一般更能吸引婴儿的眼球，而我们可以利用婴儿的这种偏好来研究其视敏度。在此类研究中，使条纹越来越窄。随着条纹变窄，它们渐渐融合，直到婴儿无法从纯灰色中辨别出条纹。此时，婴儿不再显示出对条纹的偏好。而当这种视觉偏好消失时，就可以假定婴儿不再能看到单个的条纹。而我们把这一点叫做婴儿从背景中辨识出细条纹的阈限。图 3.1 阐述的结果揭示，婴儿的视力测量是多么的细致和精确。

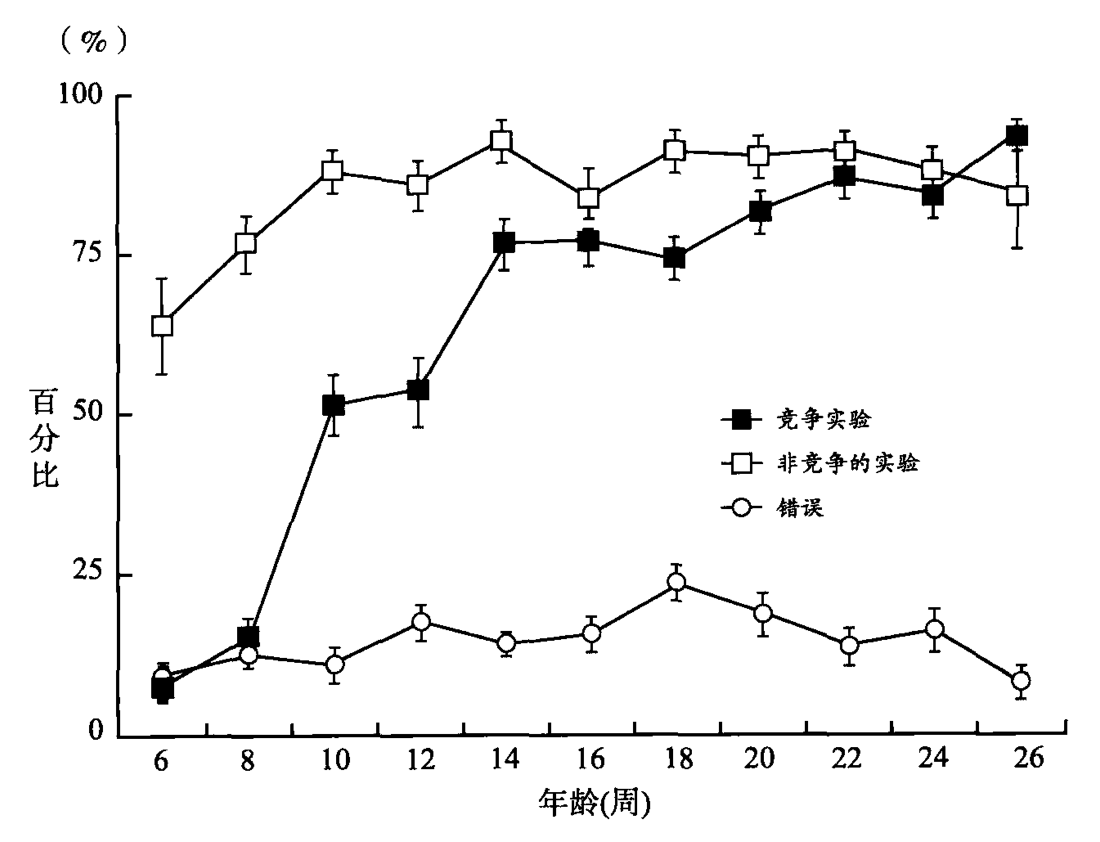


图3.2 婴儿期定向功能的发展。在人生的最初几个月，当有分心物存在时，转移视线到可视物体的这种能力（百分比）缓慢发展。引自"Infant's Shifts of Gaze from a Central to a Peripheral Stimulus: A Longitudinal Study of Development between 6 and 26 Weeks" by P. R. Butcher, A. F. Kalverboer, and R. H. Geuze; 2000, Infant Behavior and Development, 23, p11. Copyright 2000 by Elsevier. 经允许改编。

二、儿童期的眼动

当某人观察一个物体时，他的头和眼睛都朝向这个物体的方向。长期以来，这种视觉定向运动是研究注意的关键（Ruff & Rothbart，1996）。一个人往往朝他注意的地方看，虽然众所周知，成年期的注意可能和凝视无关，正如人用眼角看东西时。其实，人甚至在出生前就有眼动，而在出生时，婴儿就已表现出追踪物体运动的能力。但是，正如以前记录的那样，他们的视敏度是有限的，而且他们辨别物体的能力也相当有限。吸引婴儿注意边缘物体的这个过程同样也很难，因为他们的视野范围是有限的。尽管如此，定向注意边缘物体的能力，在2—4个月间仍然经历了非常快速的发展，正如图3.2所示。

新生婴儿对可视物体并不敏感。虽然婴儿的注意力可能被吸引到一个缓慢移动的物体上，但是婴儿的眼动仍然不够灵活，且有可能跟不上目标物。即使在两个月大时，婴儿能够较长时间地定向一个物体，但可能只是将眼神聚焦在

58 刺激物的边缘或拐角处，而且对注意力也似乎缺乏自主控制的能力。Emde 和他的助手（Emde，Gaensbauer & Harmon，1976）曾经描述了婴儿两至三个月时，由于脑组织变化所引起的行为改变。他们注意到，在婴儿两三个月之前，其很多反应都是自发的或者外部驱动的，而两三个月的婴儿似乎已开始积极地寻找刺激，并常常以微笑作为回应。

然而之前，婴儿与监护者的沟通大多数是通过哭泣或者烦扰以引起监护人的安抚。从婴儿收到积极效果、婴儿看东西的模式甚至其用手挥击周围物体的行为可以看出，两三个月的婴儿已显示出了内部驱动或者自主行为的模式。这时，婴儿和看护者之间的互动已经超越了“烦扰—抚慰—睡眠—烦扰”的循环，而存在于充满兴趣和快乐（这种快乐也包括监护人体验到的快乐）的更长时间的觉醒期。

监护人经常会利用有趣的物体去转移孩子的注意力，或者是抚慰孩子。到4个月大时，婴儿的视线就可以从一处转移到另一处，以探测这个可见的世界。通过观察的方式，他们对这个物质世界有了更多的了解。于是，自制力的漫长发展进程开始了，即使此时，大部分刺激物仍然是别人拿着的。这些从婴儿的行为所看到的事实，反映了脑系统突飞猛进的发展，而脑系统也为婴儿对感觉性物体的定向能力奠定了基础。在本章中，我们将通过描述标记任务的使用方法来追踪婴儿早期，研究在可观察到的自主定向功能变化的背后隐藏着怎样的发展。

三、早期脑的发育

虽然神经系统的很多部分在出生前就已发育，但是对灵长类动物，尤其是人类来说，需要长时间的后天发育才能完成脑的基本建构。因此，某些方面的发展可能持续终生。而关于早期发育中，神经元分布变化和突触形成方面的知识，我们也已了解了很多（Johnson，2002）。

神经元（或突触）之间的新联结数目在出生前就已经开始激增了。出生后的数月中，持续高速增长。在青春期过后，某些脑区存在着一个长时间的突触密度稳定期，接着开始大幅度下降（Huttenlocher & Dabholkar，1997）。尽管如此，在青春期，脑的某些部位仍在持续发展，甚至在成年期，一些脑区的

59 新细胞仍在发展（Hastings，Tanapat & Gould，2001）。很多推论证明，童年期的突触密度也许能解释这一时期快速增长的学习能力。但是突触密度和学习之间的关系还有待建立。

随着神经束被髓鞘所覆盖，脑区之间的长距离沟通变得更加迅速，脑白质也有了一些稳定的变化。髓鞘的形成贯穿于整个童年期（Giedd et al.，1999）。可能脑区之间长距离联结中的很大一部分都需要执行复杂的认知任务（参看本书第4，6，7，8章），而这些复杂的认知任务，恰恰建立在这些联结的基础上。

伴随着脑的一些重要变化，是同样令人印象深刻的行为变化。在生命的最初几年，婴幼儿学会了控制自身的行为和精神状态，因此成为大一点儿的儿童和成人后，他们对自己的情绪、思想和行为，都能够进行一定程度的中枢调节。我们将行使这些调控的脑系统叫做“注意系统”。对“婴儿和看护者之间怎样互动，才能够培养出未来学习所需要的优秀自控力”这个问题来说，“注意的发展”问题很重要，而注意的发展，也正是本书第4—6章的核心议题。

虽然对“细胞迁移”、“突触密度增加”和“髓鞘化”这样的活动，具体与“获得自控能力”的关系有多么复杂，我们还不是完全清楚，但是已经有足够的信息，在“精确的、特异性的注意机制”和“某些潜在的神经活动”之间建立巧妙的联系。随着新研究的进展，这些联系一定会渐渐增多。

四、人脑的注意系统

第2章通过使用“注意网络测验”，提供了分别测量三种注意网络（图2.8）效率的方法。很多人认为所有的注意都是一回事。如果是这样的话，所有网络的活动都应该高度相关，而且应该有一个同样的或者类似的解剖结构。其实，三种网络的活动多半并不相关，而且我们已经识别出不同网络的各自位置。尽管如此，这些网络当然也在相互沟通中执行与注意有关的很多任务。

在成人脑成像的研究中，我们已经广泛探究过注意系统，发现注意系统包括很多确定的神经网络。这些神经网络执行着如下功能：获得警觉状态（警觉网络）、定向感觉性物体（定向网络）以及在可能需要冲突性反应的时候，维持行为持续和目标之间的协调（执行网络）。表3.1呈现了这三种网络所涉及的脑区。这些脑区是注意作用的源头，而这些注意作用可能影响到整个脑区。 60

表 3.1　三种注意网络的脑区和化学调质

功　能	脑区位置	调　质
警觉	蓝斑核；额叶和顶叶皮层	去甲肾上腺素
定向	顶上小叶；颞顶联合区；额叶眼动区；上丘；丘脑枕	乙酰胆碱
执行注意	前扣带回；前额叶侧面；基底核	多巴胺

我们都熟悉警觉水平的变化，如从睡眠状态到时刻准备着高效处理信息的警觉状态，而警觉网络就是负责获得和维持这种警觉状态的。每个新异刺激都会影响到大脑皮层的整体协调或觉醒水平（Hebb，1949）。当缺乏外部刺激时，器官可能会放松警觉或陷入睡眠状态。警觉网络位于中脑，能激活额叶和顶叶区。

警觉网络位于中脑的一个叫做“蓝斑核”的区域，此区域是神经调质去甲肾上腺素的发源地。当警觉必须维持较长时间时（强直性警觉），大脑右半球参与程度最高（参看 Posner & Petersen，1990，综述）。将警觉信号放到引起参与者反应的靶子之前，这样就可以对警觉水平进行操控了。警觉信号提高了对靶子反应的速度。

第二个网络是定向网络，主要负责感觉性物体的注意定向，图 3.3 呈现了这个网络的主要皮层部分。新异物体通过以下两种方式之一引起注意定向：（a）调整眼或头的位置，使物体对准眼睛的中央窝，并使两者与感觉加工器在同一条直线上；（b）在适当的感觉系统内，隐蔽地调整空间注意，同样能提高感知能力和激活水平，但眼或头的位置却没有明显的调整。绝大部分对定向系统的研究都只涉及可视物体，但我们却发现，其他感觉性刺激物和涉及多感觉通道物体的定向也有着非常类似的机制。总体上，定向网络涉及顶叶的两个分离的脑区，而这两个脑区与前额、丘脑和中脑的特定区域都有协作关系，且它们中很多都与眼动密切相关。总之，这些区域均负责将注意吸引到感兴趣的感觉性刺激物上。

61

第三个网络（我们叫它执行网络）为自主行为奠定基础。激活成人此网络的一种典型方法是，在同一物体可能引起的两种反应之间设置冲突。比如，在经典的色词任务中，一个单词用一种颜色的墨水呈现出来，而这种颜色可能和这个单词的名称一致，也可能不一致。被试的任务是避免念出这个单词，而对墨水的颜色作出反应。由于单词阅读对成人来说太过自动化，因此被试往往有强烈的趋势去读单词（如“红”），而不是去识别单词的颜色（如“蓝”）。这个颇难的任务激活了对自主控制来说十分关键的脑区。不过，执行网络是本

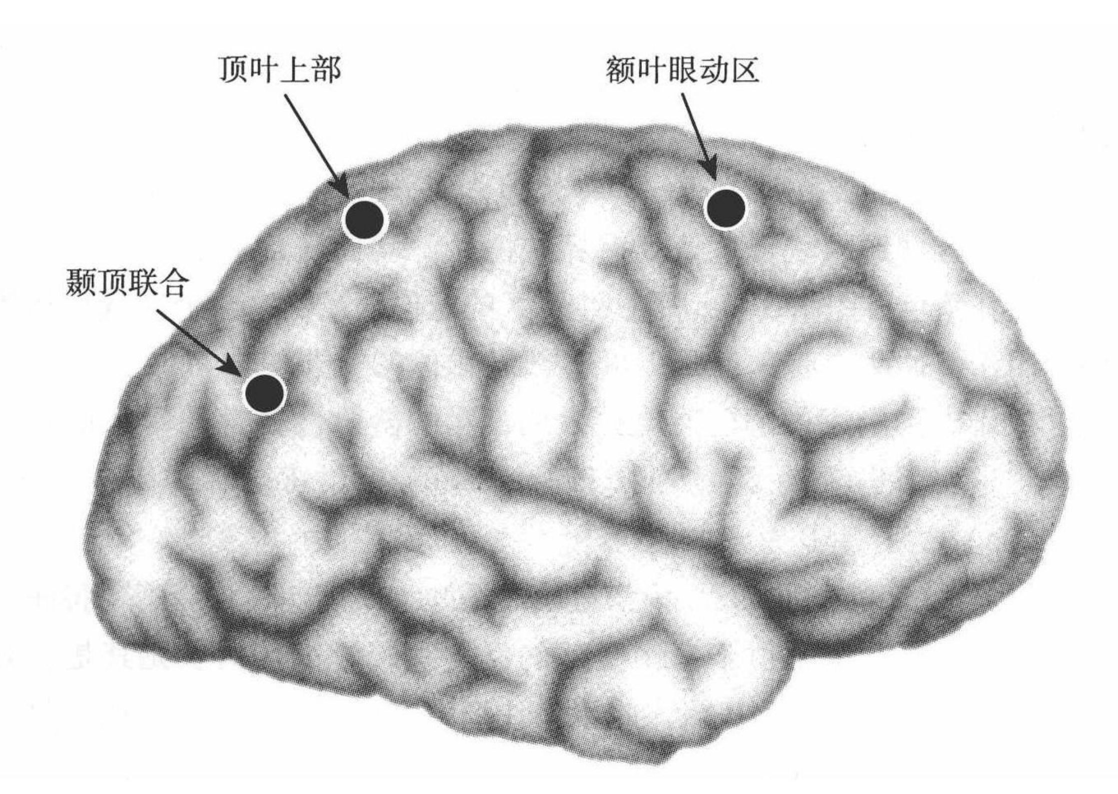


图 3.3　与定向感觉性刺激物有关的皮层网络区。上图阐明受惊的猴子和人类神经成像两者的研究结论是趋于统一的，而这一统一的结论即，顶叶上部、颞顶联合以及额叶眼动区是负责注意定向的主要脑区。(Corbetta & Shulman，2002)

书第 4 章的主要兴趣点，该网络的发展在那里也会有更加详尽的论述。在本章中，婴儿对定向的控制才是我们所要考虑的。

62

五、定向网络

很多对视觉定向的研究都使用了空间定向任务，而此任务正是“注意网络测验”的一部分（图 2.7）。在此任务中，靶子呈现部位的线索会将注意力自动吸引过来，而一个控制性的箭头线索也可以让人自主地转移注意力。通过将线索效应和靶子效应分离开来，我们也能将注意转移的运行过程从靶子识别中分离出来。其实，通过放心地使用标志靶子出现位置的有效线索和可能标志了靶子出现位置、但却不一定是本次实验中靶子出现位置的无效线索，我们可以使本研究更深入。同时，这种空间定向任务也研究了从注意力脱离线索位置到转移至新靶子所需要的时间。而反应时、感觉阈限、电活动和血流方面的指标均显示，与没被注意的部位相比，被注意（有效）部位的信号增强了。

研究涉及神经网络区（图 3.3），我们甚至能将神经细胞和突触机制也识别出来。受惊猴子的微电极记录（Wurtz，Goldberg & Robinson，1980）、对中风病人的研究（Posner & Raichle，1994）和脑成像研究（Corbetta & Shulman，

2002）三者的结果均显示，部分顶叶在协调改变定向方面十分重要，顶叶上部尤为重要［猴子的LIP区（顶叶侧部）］。线索出现后，顶叶上部尤其活跃。而当一个无效靶子需要注意力从一个部位转移到另一部位时，倒是顶叶的一个相对孤立的脑区（颞顶联合）表现得异常活跃。颞顶联合似乎充当着定向意外刺激的媒介角色。图3.3显示了这些脑区的定位。虽然这两个区域和其他脑区协同作用，但这两个脑区已足以阐明新异物体的主要定向机制。在“注意网络测试”中，神经成像的研究结果表明，影响阶段性警觉的警觉信号，在大脑左半球引起的活动最强烈（Fan，McCandliss，Fossella，Flombaum & Posner，2005）。

由中风、肿瘤、磁刺激或颅内伤造成的顶叶细胞损伤，均会削弱将注意从线索转移到靶子（此靶子位于损伤半球的反侧视野）的能力。尤其是，颞顶联合区的损伤似乎会导致中风病人难以将注意力定向损伤区反侧的刺激物。只有当这些病人的顶叶上部完好无损，且能够预测到靶子出现的位置时，才有可能得到弥补。

在正常的视觉行为中，只有当新异刺激呈现在眼动之前时，才会发生注意的定向。注意定向有助于选出应该聚焦的视野区。当靶子很重要时，常常会引起眼动，且当必须保持注意状态时，警觉网络也会参与进来。一旦所有的注意力从靶子上统统移开，就会出现一种叫作“返回抑制（IOR）”的奇怪现象，此现象有助于注意力从视野中已注意过的位置上移开，进而定向新的位置。

63

六、定向功能

当人的注意力定向感觉性信息的来源时，脑会发生什么？成人神经成像研究给出了一个临时的答案。当要求被试将注意力定向出现在某视野区的刺激物时，负责加工此物体的视觉系统区的血流量就会增加。在靶子呈现100毫秒后，这些脑区的头皮电活动也会增强。当要求被试专门注意刺激物的颜色、形状或运动时，只有加工这些特征的特定脑区才会出现血流量的增加（Corbetta & Shulman，2002）。

在上述成人研究中还发现，若靶子正巧出现在注意力集中的那个位置，反应就会又快又准。相应地，若靶子出现在另外的位置，反应时就会被延长。在4个月大的婴儿身上，可以看到同样的行为效应。而出现在某位置，意在引起对刺激物注意的线索，若呈现得太过短暂，就无法引起眼动，但却

能在随后增加对出现在同一位置刺激物的眼动速度。正因为行为线索效应在婴儿和成人身上十分类似，我们可以设想其根源性的脑机制也是十分类似的。正如成人一样，婴儿能够将注意力集中在目标物上，且当他们这样做时，随后的刺激物所引起的反应，就好似此刺激物更加重要或更加优先。因此，通过增强靶子（此靶子出现在已注意过的位置上）的有效信号，定向也就发生了。

七、婴儿期的视觉注意

视觉系统是对感觉系统的最佳了解。而视觉经验对视觉系统的正常成熟则起着决定性的作用。例如，如果将猫的一只眼睛封闭起来，使之在最初的几个月得不到视觉经验，则那只眼睛在初级视觉系统内的皮层代表区就会严重退化（Hubel & Wiesel，1977）。遭受过单眼白内障切除的人类婴儿因早期剥夺表现出视敏度的明显下降，同时也表现出对视觉世界的注意定向程度明显减弱（Maurer & Lewis，2001）。因此，发展视觉系统的基因计划也要包括一个至关重要的任务：将视觉系统暴露于视觉世界。

我们先阐述对早期婴儿视觉系统的能力进行探查的可能性，然后将要阐述注意定向和这些能力的相关程度。最近的研究成果已根本性地改变了“婴儿能力”这个概念。20世纪50年代，人们普遍认为，在生命的最初几个月，婴儿并无实质性的认知能力。虽然在婴儿将知识概念化的方式上至今仍存在着争端，但是通过婴儿注视行为可以看出，婴儿明显地表露出实质性的感知觉能力，而这些能力在先前一度被认为是不可能的。而且，婴儿研究也表明，心理学家从此有了追踪感知觉能力发展的工具。 64

（一）探测新异事件

最可能引起婴儿注意的是什么？本章，我们将在下述情境中考虑定向参与的三种功能：发现新异事件时、紧张性降低时以及学会适应对还未出现的物体进行预测。所有这三个功能，对随后自主注意机制的发展（本书第4章将要论述）都有决定性的作用。其实，3个月大的婴儿看起来是很无助的。他们不会说话，也不能移动。因此，对“看哪里”和“注意什么”的自主控制力，比该能力起初显示得更为重要。这些能力不仅使婴儿能通过选择环境中自己感兴趣的方面来进行自我教育，还为监护人提供了一种与婴儿互动的方式。甚至

从婴儿出生开始，注视婴儿的监护人更易于吸引婴儿的注视。

“注意定向存在着文化差异”这一事实的证据，来源于对复杂情境下美中两国观察者的眼动研究。美国人更倾向于将目光聚焦在对象上，并快速将目光从一个对象转移到另一个对象。而中国观察者则对背景事件作出更多的眼动，在对情境的注意分配上，与美国观察者表现出明显的不同（Chua，Boland & Nisbett，2005）。

注意的基本机制在婴儿3—6个月时已得到发展，而且我们知道，18个月时，婴儿已经会利用监护者的注意进行自我教育，因此能将说话者注意指向的物体与新单词联系起来（Baldwin，1991）。在本章中，我们将要阐述新异物体引起婴儿注意的内部机制。我们将要论述返回抑制（IOR），即对新异位置和新异物体的偏好。

65

（二）返回抑制

婴儿发展的一个规律是，次皮层视觉机制的发展可能在皮层机制的发展之前。对成人来说，将注意力从刚刚被注意过的位置上移开后，再将注意力转回该位置的可能性就降低了。这个被称为“返回抑制”（IOR）的现象，最初是在对正常成人的反应时研究中发现的（Posner & Cohen，1984）。

返回抑制似乎是对新异物体偏爱的一个例证。在视觉上，它偏爱探索和观察新异位置，而不是那些已经探查过的位置。对疾病人群的研究表明，中脑眼动结构和上丘的损伤（而非其他一些皮层结构的损伤）会妨碍对新异位置的偏好。另外，对正常被试的研究表明，当刺激呈现在颞侧视野区，而非鼻侧视野区时，返回抑制更可能发生。由于颞侧区与丘脑联系更紧密，而鼻侧刺激则直接传递到大脑皮层，因此，我们可以推测，返回抑制可能是基于丘脑的。最近，一个单侧丘脑损伤的病例（Sapir，Soroker，Berger & Henik，1999）表现出损伤区反侧视野中返回抑制受限的症状，这更加确认了前述观点：丘脑是返回抑制的基础。

成人的数据也一致显示：返回抑制和上丘有关，而上丘在出生时就已发展得相对较好。通过研究婴儿期的返回抑制，我们开发了一个研究丘脑发育的标记任务（第2章）。显然我们对婴儿无法使用命令，所以我们使用这样一种方法：让婴儿先朝向外周刺激，然后回到中心。接着给婴儿呈现两个靶子，以测定他们是朝向先前有线索的那一边，还是无线索的新的一边。我们希望在最小的孩子身上能观察到返回抑制，但是我们却发现，返回抑制是在4—6个月之间

才发展起来的（Clohessy，Posner，Rothbart & Vicera，1991）。Butcher 和他的同事们（1999）证实和扩展了前述发现，参见图 3.4。

我们最初研究使用的是偏离注视点 30°的靶子。我们也观察到，3 个月大（而不是更大）的婴儿，在目光到达靶子之前总会有好几次眼动。婴儿总要用 1 秒多的时间才能到达那个 30°。而成人研究（Rafal，Calabresi，Brennan & Sciolto，1989）证明，在成人身上观察到返回抑制的充分必要条件是，对眼动的控制。我们推论，如果返回抑制要求对眼动进行控制，需要多次扫视的婴儿则可能无法表现出返回抑制，因为他们并未控制眼动直接朝向靶子，而只是去搜索靶子。但大多数 3 个月的婴儿却可以直接将目光转移到 10°的靶子上，以这样的逻辑，他们应该在 10°的地方表现出返回抑制。

66

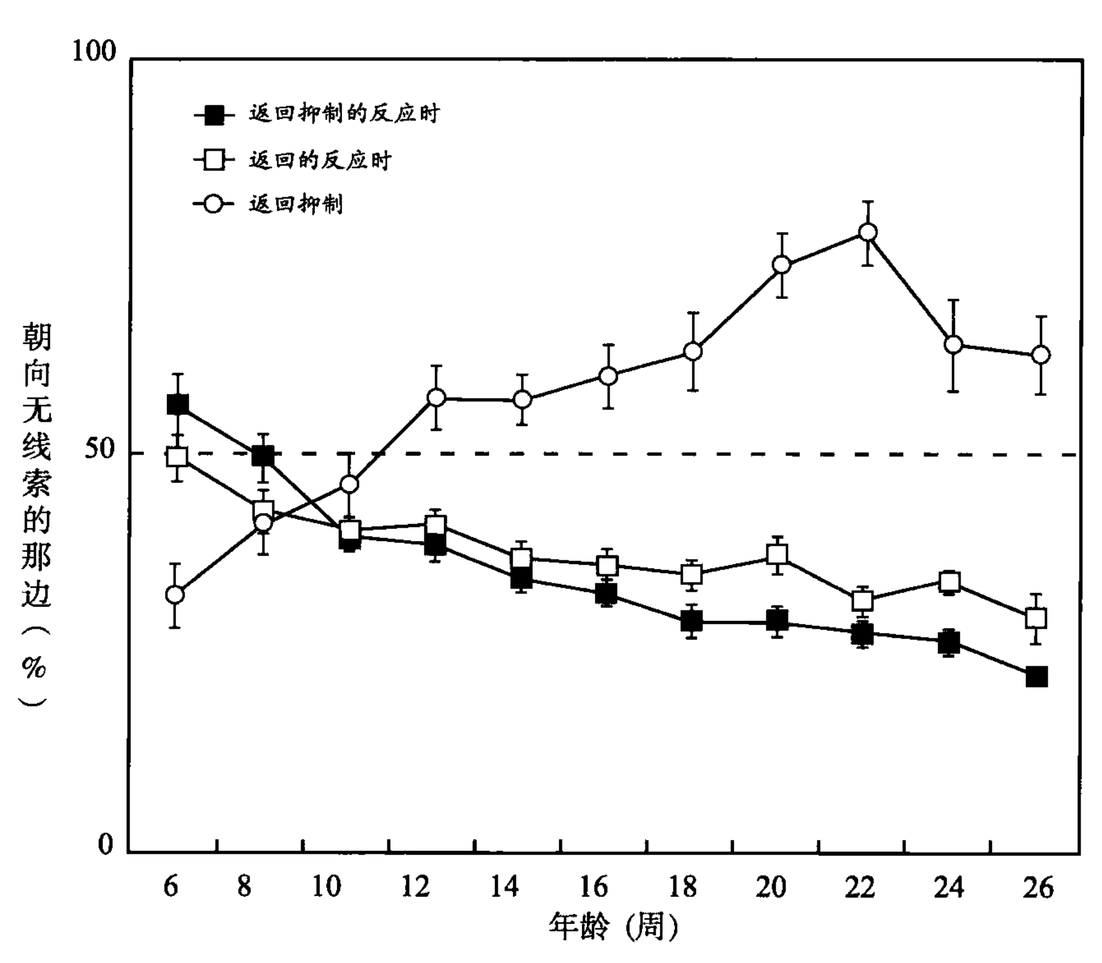


图 3.4　婴儿期返回抑制的发展。返回抑制，即以次皮层结构为基础的对新异物体的偏好，其发展贯穿于婴儿的整个生命早期。引自"Inhibition of Return in Very Young Infants：A Longitudinal Study" by P. R. Butcher，A. F. Kalverboer，and R. H. Geuze；1999，Infant Behavior and Development，22，p. 311. 经允许改编。

Harman，Posner，Rothbart 和 Thomas-Thrapp（1994）研究了 10°处刺激物的返回抑制，发现 3 个月大的婴儿身上已完全存在“返回抑制”现象。

后来的研究显示，返回抑制可能在新生婴儿身上就已存在，据此可以反映出，中脑上丘较早的成熟是如何使其在出生时就已占优势的（Valenza，Simion & Umilta，1994）。当婴儿直接朝向 30°的靶子时，他们明显表现出返回抑制的现象。这些发现和 10°处的研究成果一致说明，返回抑制的基本运行在出生时就已存在。但我们仍不确定是什么因素导致如此多的眼动，而使 3 个月大的婴儿还未达到其本应达到的目标，妨碍了返回抑制在这个年龄本应表现出的更长时间的眼动。不过，这可能和皮层系统的成熟有关（如：顶叶、额叶眼动区），而皮层系统的成熟似乎正是在这个年龄发生的。

67

婴儿期就存在返回抑制现象非常正常。这些机能建立在次皮层系统的基础上，似乎在婴儿两个月左右时消失，在皮层的成熟后又开始出现。比如，真实脸和打散脸（将五官随机安排位置的脸。——译者注）相比，初生婴儿更喜欢前者（Johnson & Morton，1991）。可以认为，在初级中脑机制的基础上，他们才能辨别出两者的不同，但是，这一偏好却在不久后消失了，而在他们 4 个月大时，形成了更多的类似于成人的特征后又重新出现。

（三）对新异物体的偏好 VS 对新异位置的偏好

通过在 10°处呈现靶子的方法，我们可以将“偏好新异位置（返回抑制）”和“偏好新异物体”两者的发展历程进行比较（Harman et al.，1994）。研究发现，成人有分别涉及朝向物体和定向位置的两个机制。正如我们所知，与位置相关的返回抑制进程，是中脑丘脑系统的一个特性，但此系统对物体的辨别无能为力。对可视物体的辨别还是要依靠颞下小叶的皮层系统。

我们将“对新异位置的偏好”和“对新异物体的偏好”两者进行比较。为了研究对新异物体的注意定向，我们将一个单独的物体暴露在注视点处。当这个单独的物体移离注视点后，呈现在注视点或左或右 10°的地方，而新异物体恰在同等距离的相反方向处。

当一个新异的靶子呈现在新异位置上时，3—6 个月的婴儿对新异的偏好表现得十分强烈。但当物体偏好和位置偏好处于竞争状态时，3 个月大的婴儿不再表现出对物体的新异偏好，而表现为定向新异的位置。甚至在 6 个月大时，只有在婴儿对前一个物体的注视超过 3 秒时，我们才会发现其对新异物体的偏好；而当婴儿仅仅朝向前一个物体 1 秒时，我们并不能发现其对新异物体

的偏好。在6个月大的人类婴儿身上，对物体呈现出偏好所需的必要暴露时间和幼猴的记录相似（Gunderson & Swartz，1986）。相反地，即使朝向的持续时间再短，对位置的新异偏好也能建立起来。

我们将这些研究进一步延伸，以直接说明：在婴儿6个月大时，两种形式的新异偏好是相互独立的（Posner，Rothbart，Thomas - Thrapp & Gerardi，1998）。我们在同样的实验范式下比较40个相似的6个月婴儿。这些范式要么涉及暴露于某一物体，要么涉及暴露于某一位置，然后在两个物体中选一，或在两个位置中选一。可见，两种形式的新异偏好都被展示了，但是数据显示两者并不相关。返回抑制的新异偏好形式和眼动密切相关，它只有在婴儿可以自主地将目光转移到物体上时，才能表现出来，而且它在婴儿出生时就已经以某种形式存在。而对新异物体的偏好，似乎和视觉通路的重要发展伴随出现，而视觉通路的这一重要发展与婴儿4个月时出现的物体再认能力有关。 68

新异物体对注意力有三种不同的影响：第一，新异物体可以产生更快更稳定的定向。第二，通过去甲肾上腺系统，新异物体激活警觉系统，从而提高机体警觉性。第三，新异物体会使机体努力形成一个新的物体文件，进而用这个文件来编码新异事件。成人研究表明，即使某个新异物体瞬间闪现，也可能会同时影响到上述三种加工进程。此研究成果同样表明，新异物体的呈现，为注意力的初始定向提供了线索，但是接下来的持续注意则要开始涉及更复杂的执行功能了（Posner，Rothbart & DiGirolamo，1999）。这一发现也许能解释，在“婴儿会更长久地注视熟悉物体还是新异物体”这一问题上，为什么很难找到统一的答案，因为注视偏好绝非仅仅依赖于定向趋势。

八、对注视点控制能力的发展

出生时，婴儿似乎还不能对注视点进行自主控制。但到满月时，一系列大脑通路（从额叶皮层下的基底核到和眼动密切相关的中脑结构上丘）的发展似乎开启了一个新的时期：婴儿能够长时间将注意力维持在注视点的时期（Posner & Raichle，1994）。

1. 强制注视

根据Haith（1980）的著作，此年龄的婴儿，其目光会被有很多条边和高空间频率的刺激（如棋盘）所吸引。喜欢看边对婴儿了解视觉世界很有意义，因为边不仅标志着物体的界线，且能够引起初级视觉皮层细胞的强烈激活。如

果1—3个月的婴儿朝向一个棋盘状的物体，他们的目光就会被其所吸引，并能保持长久的注意。棋盘对婴儿的视觉系统有很强的刺激作用，而且，对棋盘的定向还可能会引起婴儿的不安。如果成人朝向图3.1中的条纹，他们也可能会由于此条纹规则的形状而有些轻微的不安。可见，婴儿两三个月时的确会有一个阶段，在这一阶段，婴儿的目光会被此类刺激所吸引。我们可以把这种效应叫做“强制注视”，它似乎出现在下面两个时期之间：即婴儿开始对注视点有一定控制的阶段，从某视觉刺激物上转移注意的阶段是由于脑的顶叶皮层逐步发育成熟后才形成的能力。

69

注意力持久定向阶段对婴儿与监护者的早期感情交流十分重要。在强制注视期，婴儿能够长时间地注视监护者的眼睛，这为两者建立亲密的关系奠定了基础（Bowlby，1969）。而且监护者也可以利用这个机会给婴儿提供愉快的刺激，以使婴儿出现显著不同于棋盘反应的行为反应。虽然如此，对这么大的婴儿来说，初始定向背后的内部机制可能仍是相似的。

2. 从刺激物上转移注意

注意定向的发展可以从标记任务开始，而这种标志性任务是用来测量婴儿从某位置上转移注意能力的。在我们的方法中（Johnson，Posner & Rothbart，1991），婴儿的注意力被一个强大的中央视觉吸引物所吸引，此物体要么在屏幕上隐约出现，要么在屏幕上盘旋升降。然后发现，在婴儿两个月大时，即使再强大的外周刺激物也不足以使注意力从此注视点上转向新的物体。而在2—4个月间，这种状况发生了戏剧性的改变，这时，婴儿从中心物体转移注意的能力开始飞速发展（图3.2）。在大约4个月时，婴儿和监护者之间的社会互动也有了重要的变化。以前，孩子和监护人主要进行面对面的视觉交流；现在，孩子开始有了监护者以外的新的视觉兴趣，且婴儿对注意定向的控制力也使其对这种新兴趣的探索成为可能。而监护人也在适应着这种变化，学会渐渐面对“孩子的注意力从成人面部转向外部世界”这一事实。

3. 习惯化

正如我们所见，婴儿的神经系统被引起感觉世界变化的新异物体所强烈吸引。但是，如果同一刺激呈现时间过长或者反复呈现，就会出现对该物体的持久定向力下降，我们把这种下降叫做“习惯化”。习惯化对追踪婴儿的感觉能力和语言能力十分有效。它已经有效地应用于对婴儿认知加工的研究。在这种研究中，我们先将同一刺激按顺序多次呈现给婴儿，直到婴儿开

始对这一刺激仅仅瞥一眼为止。此时的婴儿看起来已十分厌烦该刺激，或者说已习惯注视该刺激了。然后，在下个实验中，要么再次呈现那个旧刺激，要么呈现一个在关键特征上有别于旧刺激的新刺激。如果对新刺激的观察时间延长，我们就可以推论婴儿已经将新旧刺激辨别开来。通过诸如此类的方法，我们知道婴儿有能力辨别出母语和其他语言在发音上的不同；婴儿对即使还未出现的物体也有判断力；当数字很小时，婴儿能够理解数字的概念，甚至可以做一些小数字的加法（有关该研究的综述参见 Spelke，2004）。而婴儿视觉定向的某些方面，如注视的习惯化，其实还可以用来预测童年期的智力分数(Slater，1995)。

当用行为方法（诸如习惯化或偏好注视的时长）来追踪感觉阈限时（图 3.1)，我们也许可以了解到一些相关的脑机制，因为我们对感觉敏锐度的神经基础已有了一定的了解。但是，当习惯化和偏好注视被应用于知觉问题时，我们就无法了解与之相关的脑区了。

婴儿延长注视时间意味着什么？此问题已招致大量争议。而此问题的一个较好的例子存在于 Wynn 的研究中（1992）：她先给婴儿呈现一个物体，然后将这个物体从视野中隐藏起来。接下来，让这个婴儿观察位于被隐藏物体旁边的另一物体。而后，被隐藏物体被重新呈现，我们发现，只出现一个物体时的注视时间明显长于两个物体同时出现时的注视时间。Wynn 认为，这说明了婴儿原本期待一个物体加上另一个物体总共等于两个物体，因此当出现的仅仅是一个物体时，婴儿就会很惊奇。脑科学研究成果（Berger，Tzur & Posner，正在出版中）也显示，7 个月大的婴儿在错误情景下激活背侧前扣带回区域，而这和成人错误的探测结果常常相关（本书第 4 章）。错误探测是注意执行系统的部分功能，而此系统对自主控制功能也十分重要。这些发现都表明 7 个月的婴儿就能在某种程度上认出错误，且其脑对错误的反应和成人一样。

4. “对注视点的控制”这一问题的结论

到目前为止，我们已经对大量婴儿研究进行了简略回顾，而这些研究专为检测婴儿朝向新异刺激的这种趋势所设计。我们发现，注意定向的发展和眼动系统的发展非常一致，且注意定向的影响因素在出生时就已存在。而且，注意定向的发展过程似乎反映了生命的第一年中视觉皮层系统的整体成熟状况。因此返回抑制在出生时就已存在，但却可能在婴儿 3 个月大时仍旧观察不到。只有在后来，从注视点上自主转移注意的能力才显示出大的发展。而这种在 2—4

个月间我们所看到的发展可能是顶叶系统成熟的结果。

71 对新异物体的偏好，似乎在4—6个月间得到了充分的发展，而负责物体识别的腹侧纹前皮质（ventral prestriate structures）的成熟可能也起到了加速这一偏好发展的作用。偏好新异物体与偏好新异位置两者的相互独立与来自成人数据的观点非常一致：基于位置和基于物体的注意涉及不同的机制。而由外周和中心线索引发的注意定向似乎也是同时发展的，这就为下述观点补足了证据，即在两种形式的注意定向中都有顶叶的积极参与。而且，我们还发现，4个月大的婴儿就有能力利用中心线索指导预期定向即将出现的靶子，这说明，在这个年龄，内隐学习这一形式已通过眼动系统显露出来。在关于学习的章节中，我们将会进一步探讨这一发展。

九、抚慰

婴儿的早期生活和情绪控制密切相关，例如对不安情绪的控制。生命的第一年，在发展这种控制形式的过程中，注意显得十分重要。关于“怎样利用注意去控制婴儿的情绪”，监护者提供了一些建议。在婴儿不满3个月时，监护者常常报告他们主要用抱或摇的方式来安抚婴儿。然而在婴儿满3个月时，很多监护者，尤其是西方文化的监护者，试图将婴儿的注意力转移到其他刺激物上以使婴儿分心。随着注意力的转移，婴儿渐渐平静下来，不安的情绪似乎也减弱了。

我们曾对3—6个月婴儿的注意力和被抚慰情况进行过一项系统的研究（Harman，Rothbart & Posner，1997）。婴儿先是因声光的过度刺激感到不安，但当有趣的可视及可听物体出现时，他们立即被高度吸引。当被吸引时，他们面部线索和语音线索中的不安成分消失了。但是当新物体被移开，注意力因此也不再定向新物体时，婴儿的不安几乎完全恢复到了新物体呈现前的水平（图3.5）。可见，表面上不安线索的消失并不总伴随着不安情绪的真正消失。相应地，某种叫做“不安保持者”的内部系统似乎总能保持着不安的初始水平，在婴儿不再注意新异物体时，这一初始水平便重新恢复了。在后来的研究中，我们曾通过注意力转移法使婴儿平静大约1分钟，但当注意转移终结后，却发现不安达到的最终水平并未改变。而且，为安抚婴儿重复使用的那个刺激物在婴儿6个月时的效力似乎比三四个月时下降了。结果表明，在注意力转向其他物体时，与不安有关的脑情绪状态仍可能会持续一段时间。

72

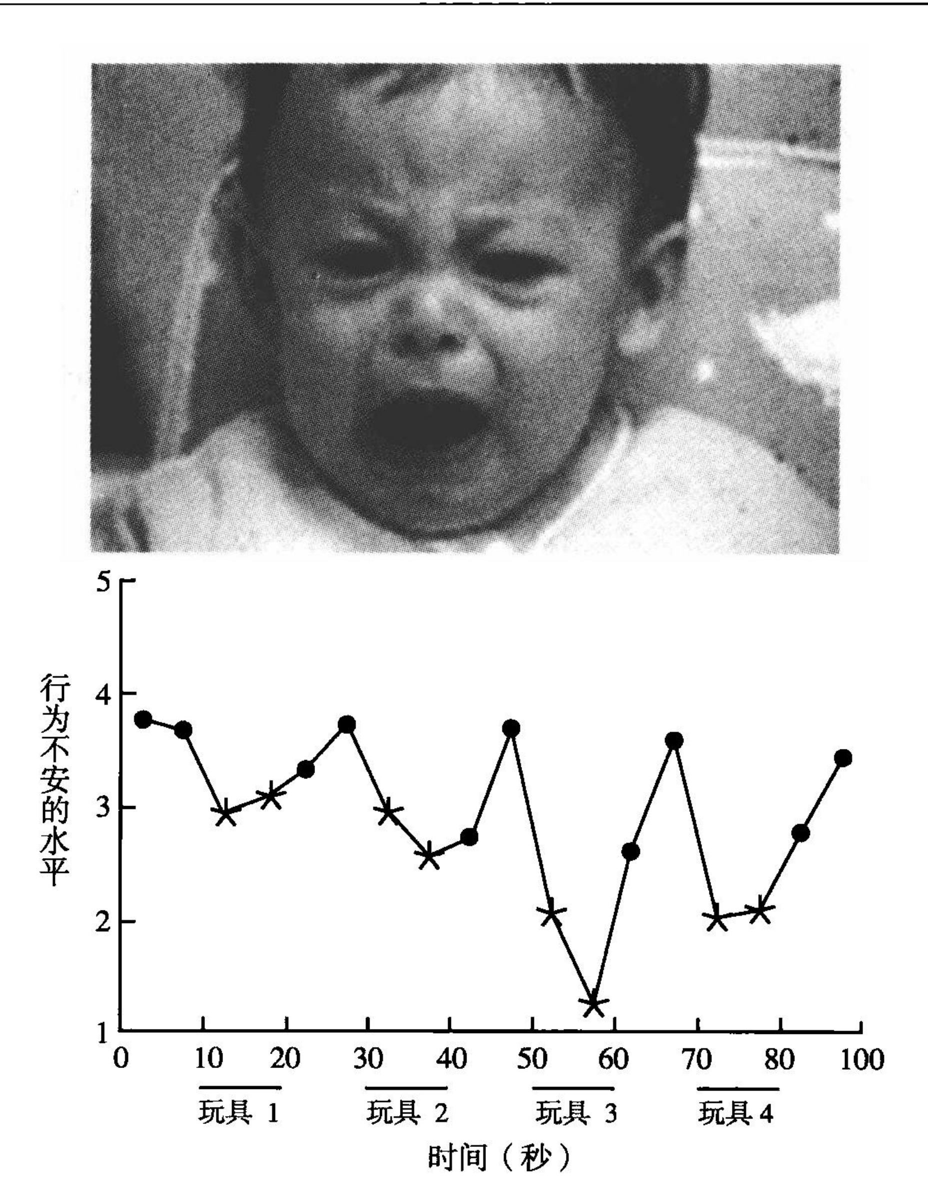


图 3.5　通过注意力转移来安抚婴儿。上图是一个由于过度暴露在声光刺激下而不安的婴儿。下图为一个综合性的统计图，显示了婴儿注意定向的新刺激呈现前后，婴儿不安情绪的得分情况。在注意定向时，不安水平降低了，但当注意定向被打断后，不安水平几乎又恢复到了刺激呈现前的水平。引自"Distress and Attention Interactions in Early Infancy" by C. Harman, M. K. Rothbart and M. I. Posner, 1997, *Motivation and Emotion*, 21, p. 31. Copyright 1997 by Springer Science and Business Media. 经允许重印。

对婴儿注意力的控制部分受制于监护者所呈现的相关信息。但很明显，婴儿也常常恳求成人的注意。在生命的第一年，这种对注意更直接的控制从监护人那里传递给婴儿。因此在婴儿后期和儿童期，用于控制早期自我情绪的机制可能继而会转向对认知的控制问题。对幼婴注意定向的控制，最初大部分受制于监护人所呈现的信息。然而，正如我们所见，4 个月时婴儿已经有相当的控制力，可以控制自己的目光从一个可视位置移开并转向另一位置，婴儿还在实验中表现出更娴熟的注意定向技能，并伴随着父母所报告的较低的负性情绪和

73

较高的可安抚性（Johnson et al，1991）。而“转移视线以控制不良影响”这一相关现象似乎在婴儿阶段就已存在，并持续贯穿整个成人阶段，且此现象也为我们提供了自我控制的一个重要侧面。因此，那些报告自己更有能力控制和转移注意力的成人和青少年，同时也说到他们表现出更少的负性情绪（Derryberry & Rothbart，1988）。的确，现代认知疗法和控制心智的东方疗法，两者的很多观点都建立在“通过控制注意力来降低不良信息的干扰性影响”这一基础上。

在对3—13个月的婴儿进行的纵向研究中，我们观察到婴儿情绪控制方面的很多变化（Rothbart，Ziaie & O'Boyle，1992）。首先，当面具和意外的机械玩具之类的唤醒性刺激物呈现时，年龄大些的婴儿注视妈妈的次数增多了。且当婴儿13个月时，在实验室中将婴儿的注意力从唤醒性刺激物上移开，也只引起了婴儿较低水平的负性情绪。而且，婴儿对下列动作［注意转移、牙牙学语、啃手指（如吮吸大拇指）、接近物体和抽回手去］的应用也在10—13个月之间趋于稳定，说明了婴儿的某些自控策略已渐渐习惯化。同时婴儿在3—13个月期间被动自慰行为也减少了，而更加主动的、攻击性的以及身体的自我刺激增多了。但是，在3个月时表现出强烈不安的婴儿仍趋向于将他们的自控和自慰维持在一个十分早期的形式。情绪控制机制一旦得到发展，它就会由于其自身得到缓解而保持下来，即便更复杂的情绪调节机制现在已经形成，这对于思考解决临床问题的发展性方法是非常重要的。

最近的研究发现，婴儿的自控性注意转移与同时存在的负性情绪的减少之间有直接的联系（Stifter & Braungart，1995），并且还出现了对以下观点的支持，即早期处理消极情绪的机制随后可能转向对认知和行为的控制，这与Posner和Rothbart的发现一致（1998）。比如，研究者发现，婴儿在激怒性情景中对自控的使用与延迟反应这种学前期的能力之间具有相关性（Calkin & Williford，2003）。Mischel和同事们的研究发现（Sethi，Mischel，Aber，Shoda & Rodriguez，2000），蹒跚学步儿童在唤起性情景中对注意转移策略的应用和他们随后在5岁时的延迟满足也有正相关。在下一章中，我们将会回到自控机制这一问题上。但是，首先建立一些婴儿在控制注意定向反应时最早发展出的技能是十分重要的。

十、学习

婴儿怎样学会、何时学会将目光投向某处呢？我们认为，这是婴儿最早表现出的技能学习形式之一。这也是永远都可以通过比较成人学习和婴儿学习的

对应方面来进行检测的一种学习方式。教会年轻人关注哪里对社会来说十分重要，这种学习成为很多社会约定俗成的一种学习方式。比如，婴儿 18 个月时，在成人的指导下开始将目光转向某名字所对应的物体（Baldwin，1991），而 12—18 个月大的婴儿，在说话者说出一个对他来说很新的单词时就会去仔细探究说话者注视的地方。

1. 预测靶子

4 个月的婴儿似乎也能够学会通过利用中心线索来重新控制注意定向（Johnson et al.，1991）。当我们将一个吸引注意的物体（如，螺旋）和随后出现在右侧的刺激物联系起来，而将另一吸引注意的物体和出现在左侧的靶子联系起来时，婴儿通过转移目光到线索指示的方向学会了在刺激呈现前预测靶子。这种在主观联系的基础上，将目光导向靶子的能力出现在婴儿 4 个月而非 2 个月时。但在 4 个月时，注意力的转移却可能完全被掩蔽，即没有任何眼动。为了说明这点，我们在一边缘位置上呈现一短暂的亮光以吸引婴儿的注意，但是却发现此亮光并未导致任何眼动。其实，如果和相反一边对称位置上出现的靶子相比，婴儿更有可能且更快速地将目光转向先前线索所表明的位置上出现的靶子，那么注意所隐蔽的眼动就被证实了。和成人一样，这么大的婴儿能使注意力被某线索所影响，但却在事实上没有朝向此线索的任何眼动。眼动控制的发展以及对边缘和中心线索的隐蔽注意，似乎都映射了损伤研究和正电子发射计算机断层研究共同显示的涉及成人注意力转移的顶叶机制。接下来，我们将要测验婴儿对靶子位置的预测能力。

2. 序列学习

我们研究了 4 个月、10 个月、18 个月大的婴儿和成人学习预测靶子可能出现的位置（共有 3 个位置）的能力（Clohessy，Posner & Rothbart，2001）。早期工作使用反应时清楚地展示 4 个月大的婴儿学习预测可视物体的能力（Haith，Hazan & Goodman，1988）。我们使用了三架连接在计算机上的监视器（图 3.6）并告知两种类型的序列。在简单的序列中，靶子绕着三角形的顶点（如 1—2—3）从一个位置转移到另一位置。而对复杂的序列来说，靶子按照 1—2—1—3 这样的顺序移动。某一位置（如复杂序列中的位置 1）上的物体毫无异议地跟随 2 或 3 处的物体出现。但另两个位置却不可预测，除非我们知道靶子位于序列的何处，或者知道靶子上一次到达那个位置是在什么时候。

根据 4 个月时的表现，婴儿能在一个新的可视物体输入后 1/4 秒知道这一

75

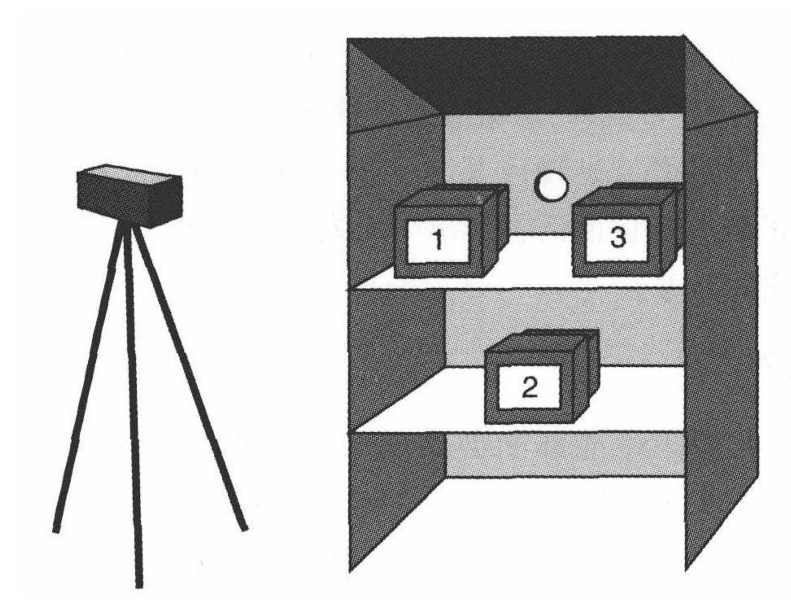


图 3.6　是用于检测婴儿和幼童学习预测刺激物位置的一种仪器。对准两台监控器中间小孔的照相机用于拍摄婴儿的面部，在图左侧呈现的照相机用于拍摄监控器中出现的刺激物，两卷胶片以电子的方式叠加后，用于揭示头部和眼睛向刺激物位置移动的潜伏期及方向。图上显现的数字实际上并没有在屏幕中出现，只是指以 1—2—3 和 1—2—1—3 这两种序列呈现，正如文中所述。

物体的位置。这一能力可以通过以下方法来测量，即检测一个物体呈现后多久，该物体所在的位置才能成为一个可以引起眼动的靶子。通过这种测量，4 个月大的婴儿用 250 毫秒就能获得足够的靶子位置的信息，而他们用超过 80% 的时间把目光直接转移到正确的靶子上（概率为 50%）。同时发现，获知物体位置的速度随发展而产生缓慢的变化（成人大约只快了 100 毫秒），但从婴儿到成人，启动眼动的时间却下降了 50%。

76

4 个月时，婴儿学会在简单序列中预测新靶子的位置，并预测得相当好，大约有 70% 的正确率，表现得很棒。其实，那些学习序列却没有意识到序列存在的成人几乎也有着同样的正确率。但 4 个月大的婴儿却没有能力学会模糊的序列。他们在“2”和“3”后回到“1”的概率高于随机，但是在“1”后他们却随机决定到“2”还是到“3”。在 18 个月时他们似乎获知了模糊的序列，但需要花费相当多的训练才能完成对模糊序列的学习。后来我们发现，直到 24—30 个月时，婴儿才能够在模糊型测验中表现得较好。在此年龄阶段，学习模糊序列的能力以及在冲突性任务中的表现这两者之间也存在着相关（Rothbart，Ellis，Rueda & Posner，2003）。这一发现使我们相信，在大约 30 个月时，婴儿更高水平的注意机制将会有重大的发展。在本书第 4 章，我们将会进一步探讨这一问题。

事实证明，将正确预测率作为标尺是十分有效的，特别是在对婴儿的研究及对不同年龄组的学习进行比较的案例中。预测性眼动测量的一个明显优势是，通过几次测量就能正确地引发出相应的反应，且精确性的显著差异在18个测验后就能看出来。只需较少的呈现次数就能展示出眼动的预期，这也使之成为一种对婴儿评估很有价值的工具，因为婴儿常容忍不了太长的测验时间。另外，对正确预测率的测量给出了一种对不同年龄进行比较的统一标准，因为不同年龄的反应时通常差异很大。

回想一下，简单清晰的序列在4个月时就已能学得很好，然而模糊的序列直到30个月时才能学会。其实，在我们的研究中，4个月大的婴儿就已表现出70%的正确预测率，与学习后几乎仍对序列无意识的成人69%的正确率相比，并没有明显的不同。可见，这种对序列无意识的学习（内隐学习）从婴儿到成人是十分相似的。而把序列知识外显地告诉儿童和成人后却发现，他们对序列知识的利用能力有很大的不同。在第9章中，我们将要探讨外显的序列知识是怎样极大地促进了成人和10岁儿童对序列的学习，但却没有对更小儿童的序列学习有促进作用（第9章）。

成人序列学习的脑成像研究（Granfton，Hazeltine & Ivry，1995）发现，对序列无意识条件下的内隐学习，与次皮层结构（基底神经节）和顶叶结构有关。这两个区域在生命早期就已经开始发展了。但是，外显学习似乎建立在额叶结构的基础上，此结构的发展进程则晚得多。

77

十一、小结

婴儿的社会化是建立在其对新异物体进行探测这一自然趋势的基础上。它需要作为文化代表的监护者来教导婴儿该向哪里看，而这些在早期无意识学会的定向系统的反应将持续存在于基于文化的注视形式中，且这种注视形式会以社会互动和对视觉场景的探测为特征。我们的研究结果显示，负责对注意定向何处进行内隐学习的机制，对4个月大的婴儿和成人来说十分相似。

注意定向也能即刻起到抚慰婴儿的作用。每当这时候，监护者就应当乘机训练婴儿，以发展婴儿对情绪的自控能力。我们相信，在婴儿学习向何处转移目光以及学习对情绪进行自我调节的过程中，监护人的早期参与无疑是婴儿情绪和认知自控道路上的关键一步。随后该定向系统则会对婴儿认知和情绪自控能力的发展产生重要的作用。我们将会在下一章中转向这个话题。

79

第四章

自主思维

4个月大的儿童会将注意朝向给他们呈现的所有刺激，而当一年半之后返回实验室时，他们却有了自己的主意。我们很难使他们专注于所呈现的事物，他们会优先考虑自己的想法。在竭尽全力的尝试之后，我们只能摇头叹息，嘟囔道他们有自己的思想。本章中我们要考虑的是，能够控制自己的情感和行为的思维到底意味着什么。

一、自主控制的神经结构

在婴儿期，儿童的多数行为非常依赖于当前状态和外部事件，这些状态和事件主要是由监护人给予的。即使是婴儿控制不适感的能力，也受到监护人所给予的外部刺激的极大影响（表3.5）。长久以来人们认为，额叶皮层的发展使儿童能够摆脱外界刺激的束缚。前额控制机制使儿童能够表现出对行为的自主控制以及延迟满足。儿童能够抵制当前刺激输入的控制，这让我们感觉到学步期儿童与婴儿不同，他们有自己的思想。

80 出生后的第2年，这一发展期对于儿童入学后的学习能力至关重要。我们认为，监护人早期安抚婴儿的努力有助于训练婴儿调节情绪的能力。此时前额结构的执行控制功能或许就开始发展了。这些活动可以帮助婴儿控制不适感和其他情绪。儿童所形成的脑结构此后可用于在学校学习复杂技能所需要的选择、抑制和控制过程。

脑成像研究表明，在信息脱离感官的输入后，前额叶对于信息的表征就至关重要，而注意的这一方面被 William James（1890）称为“意识流”。前额叶

区对工作记忆也同样重要，这些系统使记忆中广泛分布存储的信息碎片能够联系起来。学步期儿童在尝试向他人表达想法时也会产生话语；这些话语反过来又影响了思维的内部表征。我们在这一章中将描述的是，不受当前信息输入所约束的行为能力与注意网络发展之间的关系，后者支持情绪和思维的内部调节。

Ruff 和 Rothbart（1996）在《发展早期的注意》（*Attention in Early Development*）中将注意与自我调控联系在一起，将注意视为“更大的自我调控建构中的一部分，自我调控即是根据特定情境下的认知、情感和社会需求来调整行为的能力”（p. 7）。他们进一步提出，自我调控强调抑制控制、问题解决的策略、记忆和自我监控。Ruff 和 Rothbart 除了论证注意是自我调控机制的一部分，还讨论了在成功的自我调控中，注意效率的个体差异如何发挥其作用。我们将在本书的第 5、第 6 两章中展开这一观点。

二、认知和情绪的控制

我们首先阐述成年人的执行注意网络功能。借助脑成像技术来研究成年人，可以探索执行注意的解剖基础和神经回路。成年人研究数据中让人惊奇的一点是，与认知的注意控制相关的脑区也参与情感加工（Bush，Luu & Posner，2000）。我们使用标记任务（第 2 章）追踪这一网络在学步期及幼儿期的发展。到了儿童晚期，就可以使用儿童专用的脑成像技术来检测这一系统的成长和发展。

执行注意对于外显学习这一记忆形式很重要。学校考试中涉及的正是这类记忆，即儿童对过去遇到的材料进行回忆的能力。这一过程需要注意的参与，才能在以后以回忆、复述的形式来形成记忆。

本章要强调的是，执行注意对于情绪和认知的调控都非常重要。当然，所有儿童都在某种程度上调控他们的情绪；但是，不同气质的儿童在时间管理和成功的情绪反应上却存在着很大的差异。在儿童适应学校环境的过程中，情绪控制起着决定性的作用。我们将在本书第 6 章更充分地讨论这一话题。

81

执行注意对于学校所要求的具体技能的学习也具有同样的重要性。外显学习是获得阅读、计算、抽象化等高级技能所必需的，而不同形式的外显学习又都与执行注意的效率相关。在学习新内容，并将其与已学概念联系起来的过程中，注意起着重要的作用。注意的这一作用是本书第 6—9 章的主题。

三、执行注意的测量

高级执行注意网络这一概念首先出现于认知心理学中；当分离的加工系统争夺行为的控制权时，不可避免地会产生冲突，而高级执行注意网络正是处理这种冲突的一种方法（图 4.1）。Donald Norman 和 Tim Shallice（1986）认为，在解决相互竞争的反应之间的冲突、纠正错误、制订计划或者产生新异反应的过程中，都需要这样的网络来调控。

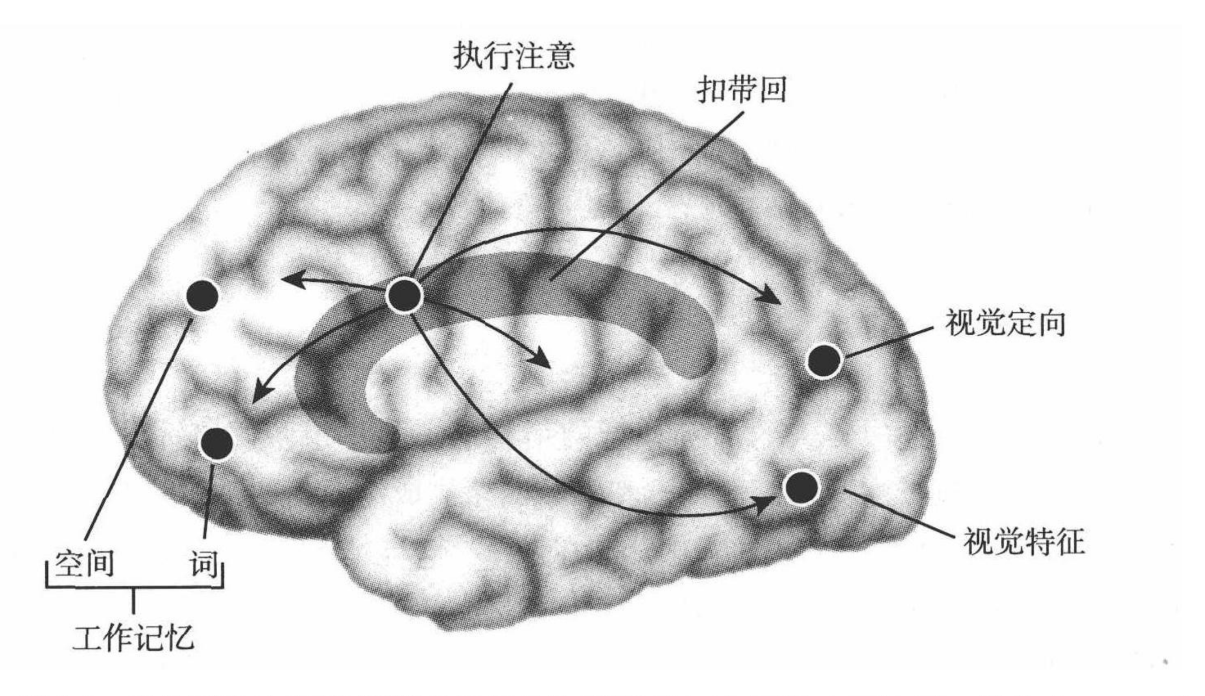


图 4.1　前扣带回与其他控制各种认知领域的脑区之间的交互作用。摘自 *Images of mind*（p. 173），by M. I. Posner and M. E. Raichle，1994，New York：Scientific American Books. Copyright 1994 by W. H. Freeman & Co. 经允许改编。

82

（一）任务

脑成像技术应用之初的研究表明，当我们注意某一感官事件，与处理该刺激相关的脑区激活就会增强（Posner & Raichle，1994）。这一原则似乎可以应用于整个脑的任何区域。当一个人专注于由脑的某个区域所执行的计算时，与该区域相关的活动就会增强，提高了这一脑区所执行的运算的优先性。

成人脑成像研究都相当一致地表明，当执行的任务可能涉及冲突（Bush

et al. , 2000)、检测错误（Carter et al. , 1998）或产生新异想法（Posner & Raichle, 1994）时，额叶中线区域会产生激活。这是 Norman 和 Shallice (1986) 所提出的对执行注意很重要的定义。

（二）冲突任务

研究表明冲突任务会激活前额中线区域，而其中最常用的任务即是 Stroop 效应。在这一任务中，实验者要求被试说出字体的颜色，而用这一颜色书写的词与字体颜色是冲突的。这一任务的研究结果显示，前额中线区域正是执行注意所导致的脑区活动变化的网络中的一部分。这是绘制图 4.1 的依据，图中以动画的形式显示了前扣带回作为额叶中线的一部分，与调控不同活动的许多区域之间存在着交互作用（Posner & Raichle, 1994）。

如图 4.2 所示，前扣带回被分成腹侧区域（图中黑色区域）和背侧区域（颜色较浅区域），腹侧区域在情绪任务中激活，而背侧区域则在纯认知任务中激活。这些认知任务（如 Stroop 任务）都需要在呈现优势反应的情况下作出非优势反应，它们代表的是涉及认知冲突的任务。其中很多都是语言任务，例如在 Stroop 效应中，对用蓝墨水书写的“黄”字要说“蓝”。另一个语言任务是，说出名词的用途（例如，刺激是锤子，那么回答就是敲），而不是说出实际呈现的词语。

图 4.2 将纯粹的认知任务与包含情绪因素的任务分离开来。尽管这种结构上的分离并不是绝对的，但背侧认知区域与腹侧情绪区域的解剖学结构存在明确的差异。偏腹侧的区域和边缘系统密切相关，而边缘系统包括了对恐惧情绪加工很重要的杏仁核。偏背侧的部分则与额叶外侧和顶叶的其他注意区域有很强的交互联系。

Stroop 任务应用于儿童研究中并不理想。儿童在学会阅读之前并不表现出 Stroop 效应，这是由于当他们不会阅读时，词语和字体颜色之间不发生冲突。而当刺激本身特征与其位置这两个维度不一致时，如图 4.3 所示的空间冲突任务中，儿童就表现出冲突。他们在儿童版的注意网络测验（图 4.3 下图）中也表现出冲突。

一个成人脑成像研究同时使用了颜色命名的 Stroop 任务和两个适用于儿童的冲突任务（Fan, Flombaum, McCandliss, Thomas & Posner, 2003）。这三个任务都激活了相同的神经网络，包括前扣带回背侧以及左侧前额皮层的一个区域。

83

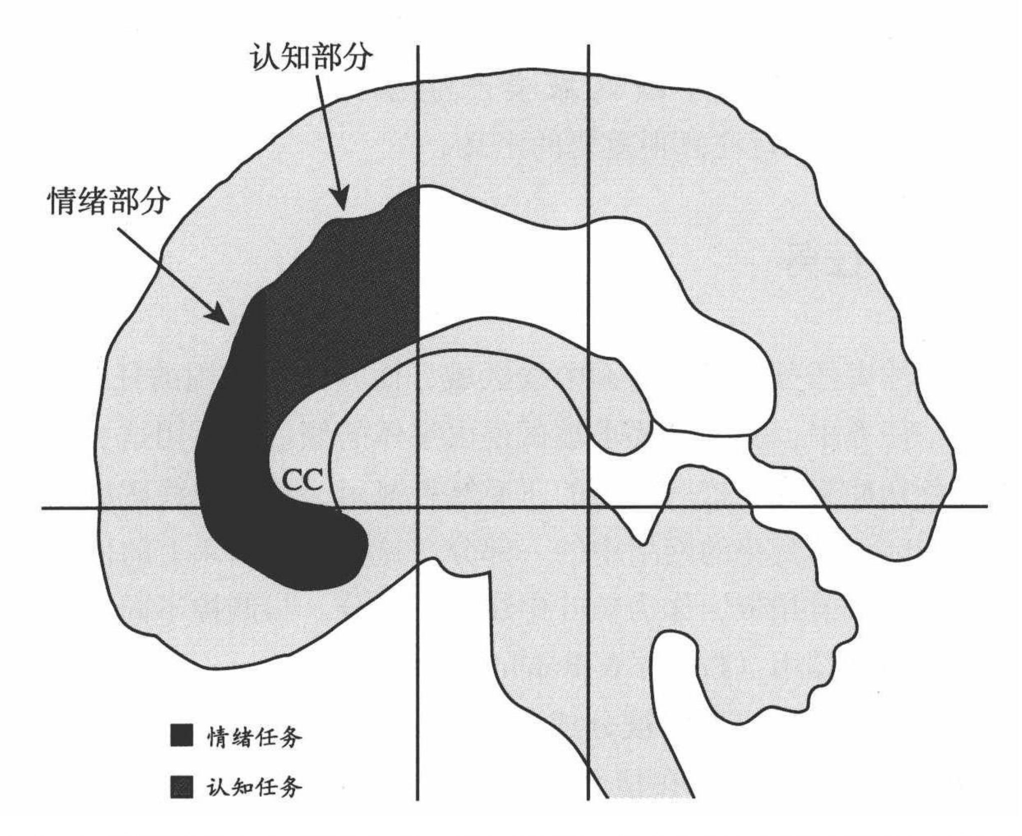


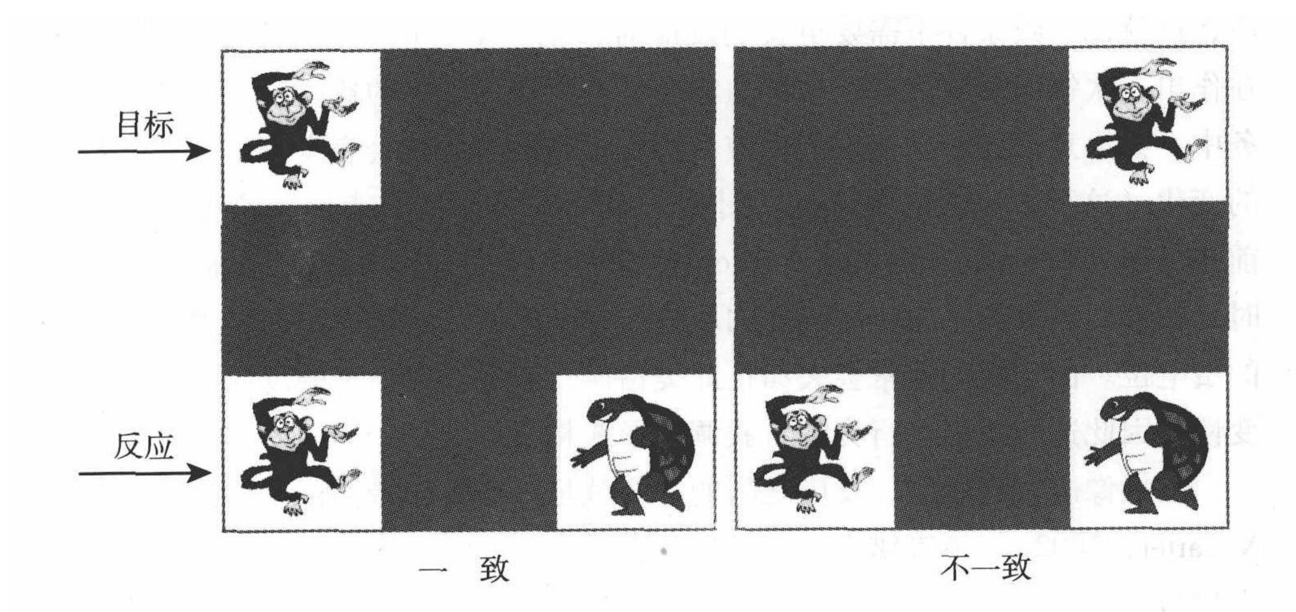
图 4.2　扣带回的认知与情绪分离。该图说明，许多研究的结果都显示前扣带回在认知控制（中灰色）或者情绪任务（黑色）中的激活增加。这里的观点是，扣带回是执行注意网络的一部分，用于调节注意过程中许多脑区的活动（图 4.1）。CC 代表胼胝体。摘自 "Cognitive and Emotional influences in anterior Cingulate Cortex" by G. Bush, P. Luu, and M. I. Posner, 2000, Trends in Cognitive Sciences, 4. p. 217. Copyright 2000 by Elsevier. 经允许重印。

84　每个任务还各自激活了其他区域，但共同激活的只有上述脑区。这一研究鉴别出可以激活执行注意的神经网络任务，对于年幼的儿童，可作为标记任务①。

85　尽管上述三个冲突任务都涉及共同的神经网络，但并没有证据表明在一种任务上表现好的人在另一种任务上同样出色。每种任务都是通过不同方法来实现冲突的。例如，颜色 Stroop 受阅读速度的影响极大，因此年幼儿童甚至根本不会表现出 Stroop 效应；空间冲突任务则利用了视觉位置与刺激特征之间的冲突，这是婴儿脑发展得最早的两个视觉维度。因此，空间冲突任务可应用于年幼儿童身上。

---

①　标记任务是指所涉及行为的神经机制已经非常明确的任务，例如空间提示任务中的注意定向是通过上丘和顶叶的中介来实现的。



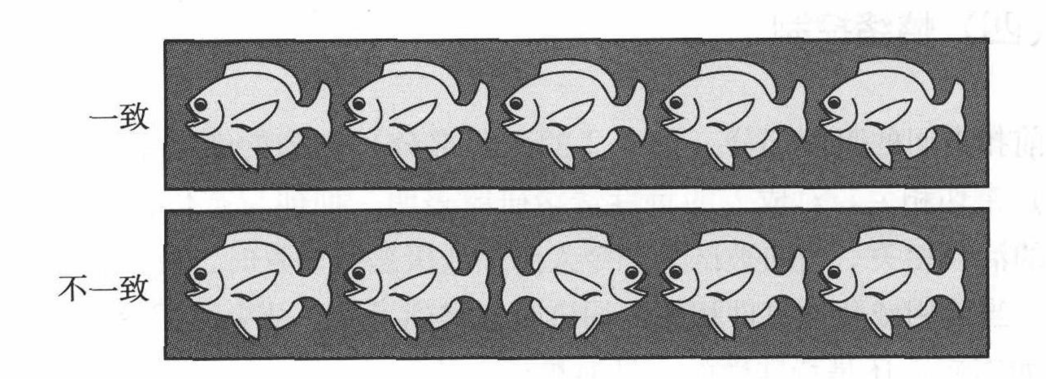


图 4.3　用于儿童的有关冲突的任务。上半部分显示的是适用于儿童的认知冲突任务。被试必须把顶部和底部的图画匹配起来（特性）以作出反应，但相匹配的图画可能位于同侧或异侧（位置）。位置与图画本身特性之间的冲突可用于研究 2—3 岁儿童的冲突解决能力（Gerardi-Caulton，20000）。图的下半部分是注意网络测验（图 2.7）的儿童版。箭头已经被鱼儿所代替，当中间的鱼儿向左游时，儿童必须按左键；向右游时须按右键。任务的其他方面与图 2.7 中相同。摘自"Development of the Time Course for Processing Conflict：An Event-Related Potentials Study With 4 Year Olds and Adults" by M. R. Rueda，M. I. Posner，M. K. Rothbart，and C. P. Davis-Stober，2004，BMC Neuroscience，5，p. 39. Copyright 2004 by M. R. Rueda，M. I. Posner，M. K. Rothbart，and C. P. Davis-Stober. 重印得到生物医学中心的书面许可。

（三）对错误的反应

在冲突任务不一致的条件下，我们需要抑制优势反应，以做出非优势反

应，这就比一致条件下需要更长的反应时，犯更多的错误，需要更多的努力。在作出一次错误反应之后，被试通常会马上意识到所犯的错误。在快速反应任务中，如果意识到作了错误的反应，头皮记录的电位就会表现出一种非常特定的变化（这种方法的范例请参见图 2.3 和图 2.4）。研究表明，这种变化来自前扣带回（Dehaene，Posner & Tucker，1994）。只有当被试知道他犯了错误时，扣带回才会产生与错误相关的反应。本书第 2 章将讨论到与错误反应类似的负电位。由于人们通常会去纠正此类错误，或者在接下来的反应系列中速度变慢，因此这种效应与行为的自我调控形式相关。

脑成像研究还表明，反应之间的冲突就足以产生扣带回的活动（van Veen & Carter，2002）。不管错误是否发生，在不一致的高冲突条件下，扣带回都会产生激活。

（四）情绪控制

前扣带回的腹侧部分（图 4.2 的黑色部分）与脑的情绪系统（脑的边缘系统）密切相关。对成人的负性情绪研究表明，抑郁与杏仁核这一边缘系统结构的活动相关。当向被试呈现令人恐惧或厌恶的场景时，杏仁核会有很强的激活。当使用威胁性事件相关的词语时也得到了这一结果，无论词语是一般性的（如癌症）还是特殊性的（针对被试个体）。

有些研究证明，扣带回的活动与我们对情绪的觉知相关，而非情绪本身。测量个体对情绪觉知的方法之一是让他们描述对场景的感受，并对他们书面报告中所使用的情绪词和描述词进行编码。

有脑成像研究使用正电子放射断层扫描技术，给被试放映三部高情绪强度的电影和三部中性电影（Lane et al.，1998）。情绪性电影和中性电影在前扣带回引起的血流量的差异，与个体的情绪觉知分数高低相关。这一数据表明，被试在悲伤或快乐事件中对自身情绪的觉知与前扣带回的变化相关。这一结果与 Rainville、Duncan、Price、Carrier 和 Bushnell（1997）的研究结果相似，他们发现与引起疼痛的刺激本身的强度相比，扣带回活动与痛觉的相关程度更高。

（五）认知和情绪调控的相互作用

由于认知和情绪加工都会激活前扣带回，因此这些功能之间是否存在相互

作用这一问题就显得很重要，其理由阐述如下：首先，认知和情绪的相互作用是心理学研究所关注的焦点之一。其次，难得有机会可以研究在结构上相邻的行为或心理活动之间的交互作用。这两个系统在扣带回内的分离虽然可能表明了两者的功能是独立的，但它们在扣带回结构上的相邻也可能说明两者存在着重要的关系。接下来，我们回顾一下关于这两个区域功能的已有研究结果，并讨论认知和情绪之间相互作用的例子。

前扣带回的认知和情绪部分可能存在相互作用，脑成像研究资料为此提供了重要的观点（Drevets & Raichle，1998）。对负性情绪的正电子发射断层扫描研究表明，强烈的情绪激活会抑制或减少扣带回中认知区域的血流量。在抑郁症等病理性障碍中可能会出现这一现象；当诱发其他健康个体的情绪时也会出现这一抑制现象，例如当正常被试预期会受到电击的时候。在不涉及情绪的警觉任务中，例如被试只是单纯地等待一个事件的发生时，前扣带回的活动也会降低。在执行需要注意参与的认知任务时，背侧扣带回的血流量增加，而偏前部的情绪区域的血流量则趋向于降低（Drevets & Raichle，1998）。

下述这一具体研究对情感控制中注意与自我调控是否存在密切关系进行了考察。研究者向男性成人被试放映色情电影，同时要求他们控制所引发的任何性唤起。功能磁共振成像的结果表明，扣带回的活动与要求被试进行控制的指导语有明确的对应关系（Beauregard，Levesque & Bourgouin，2001）。

另一个研究向被试呈现诱发负性情绪的照片，同时要求被试以避免任何情绪反应的方式对之进行解释。结果发现扣带回的活动程度与负性感情的减弱之间存在相关（Ochsner，Bunge，Gross Gabrieli，2002）。类似地，在一个使用催眠术来控制痛觉的研究中，扣带回活动反映的是对痛的知觉，而非物理刺激的强度（Rainville et al.，1997）。这些结果表明，这一解剖学结构对于涉及情绪的边缘系统的活动具有调控作用，并证明了扣带回是控制感情的神经网络的一个组成部分（Bush et al.，2000）。

这些数据说明，在情绪与认知控制系统之间存在着某种程度的相互抑制。但是，另有行为数据证明，由奖励等所引发的适度正性情绪可以改进此后的认知加工成绩，包括创造性的问题解决（Ashby，Isen & Turken，1999）。关于Stroop效应的一个研究（J. Kuhl & Kazen，1999）证明，以快乐的面孔启动而诱发出的正性情绪可以降低干扰的作用。由于Stroop效应总是与扣带回活动相关，这一活动的减弱说明在情感和注意之间存在着交互作用，并且很可能是在扣带回内部。Ashby等（1999）认为，由正性情绪状态所带来的多巴胺活动增强会促进认知加工。这一机制说明情感状态和认知之间存在着正性的交互作用

用。需要注意的是，正电子发射计算机断层研究的主要发现与负性情绪相关，并且处理的是诱发情感时的血流量；而这一段落中所描述的数据处理的则是诱发出正性情绪之后的认知加工。

对于情绪和认知调控之间的相互作用，进一步的证据来自探索人格特质对于犯错误后的反应有何影响的研究。与低负性情绪的被试相比较，高负性情绪的被试在犯错误之后更可能慢下来，并显示出更强的错误相关的负电位（Luu，Collins & Tucker，2000）。错误相关负电位是在犯错误之后立刻出现的一个脑电成分，被认为是源于前扣带回。这个结果与负性情绪与认知加工在前扣带回水平上存在交互作用的观点是一致的。但是，这一研究得到的是不同个体的结果模式，而非脑内认知与情绪的交互作用。

看来强烈的负性情绪可能抑制了认知信息的加工，而强烈的正性情绪则有相反的作用，至少就延时测量的结果而言是如此。适度的正性或负性情绪实际上可能与注意共同提高其效率。尽管这些可能性都是假设性的，但它们至少提供了方法，启发我们如何进一步研究前额中线结构中认知和情绪加工如何相互作用以及这一相互作用与学习之间是怎样的关系。

88

脑成像研究开始为探索意志控制所涉及的额叶神经网络提供证据（Dehaene，Kerszberg & Changeux，1998）。这些研究表明，前扣带回和额叶外侧皮层区域在涉及高水平的心理努力的任务中共同发挥作用。Dehaene 等（1998）提出了整体工作空间的概念，他们认为额区内侧和外侧在心理加工中产生共同的影响。但是，关于视觉刺激的注意定向神经成像研究却说明，与注意转移对应的广泛分布的神经网络中，每一个特定区域都有其不同作用（Posner & Raichle，1994）。对于涉及有意注意的内外侧额叶结构，我们期待最终也出现同样的情况。

关于额叶激活可能发挥的作用有不同的看法，但没有一种看法得到当前数据的明确支持。有一种可能是，在领域特殊活动的神经回路运作的同时，还要受到额叶中线神经回路的作用，就会牵涉较多的外侧区域。这种情况与内侧额叶皮层在工作记忆中的作用相一致。比如获取一个名词的用途这一过程（例如，与锤子对应的敲）。在评估备择用途的过程中，词语名称可能必须始终保持在一个系统中。有意注意同时包括了输入表征（外侧额叶）及控制操作（前扣带回），两者共同激活了存储相关概念的语义记忆的区域。

关于外侧和内侧额区如何相互作用，对输出的自动通路和有意通路的研究发现则支持不同的看法（Raichle et al.，1994）。依据这一想法，扣带回是进行意志控制通路的一部分，例如第一次想出某种用途时（图 1.1）。前脑岛则

代表了更为自动化的词语产生通路，在出声阅读以及提取新近练习过的联结时就会被激活。

另一个观点则涉及冲突监控和完成控制所需操作之间的分离（Carter, Botvinick & Cohen, 1999）。按照这种看法，扣带回用以检测潜在的串扰或分离的加工模块之间的混淆。皮层外侧区被激活，以提供所需的控制操作，可能增强激活或抑制，以消除模块之间的混淆。

这三个观点都将执行注意分解为不同成分，继续使用一般的途径来解释脑的活动，即各种心理操作都有其相应的特定的神经解剖位置（Posner & Raichle, 1994）。将来的研究必须确定的是，高级注意是否包含了执行特定功能的不同成分，不同成分是否都有其各自的功能或者额叶活动是否遵循脑组织的新原则。

四、执行注意的发展

本书第 3 章已提到，在婴儿出生后的前几个月，监护人的主要任务是控制负性情绪（图 3.5）。我们认为监护人（或者婴儿自己）安抚婴儿的努力可能有助于培养婴儿对负性情绪的调节能力，这对于作为负性情绪控制系统的额中区的发展很重要。

这种控制即使在成年人生活中也很重要；有证据表明，负性情绪和控制注意的能力之间存在负相关（Derryberry & Rothbart, 1988）。自我报告能够集中和转移注意力的成年人同时也报告有较少的负性情绪，从母亲对他们儿童期气质的报告中也得到了类似的结果。我们认为这一相关反映了成人与婴儿一样，以注意定向来控制负性情绪。

出生后第 2 年这一发展期对于儿童上学后的能力至关重要。儿童开始发展执行注意过程，将之应用于选择和抑制控制；而若要习得学校里传授的复杂技能，这些都是必要前提。

（一）对儿童执行注意的测验

有证据表明，在婴儿晚期，额叶结构的发展使个体已经不必完全依赖于当前的感觉输入。

1. 伸手取物

例如，婴儿要拿到三面组成的透明箱子里的物体时，到底会顺着视线直接取物，还是从开口面取物？Diamond（1991）发现9—12个月之间的婴儿已经能够解决这两者之间的冲突，因此将这一时期确定为这一发展的关键期。在9个月大时，完全受视线的支配。即使儿童的手通过箱子的开口面触摸到了玩具，但如果玩具并不在其视线之内，则婴儿会撤回手，顺着视线伸手，之后就会受到闭合面的阻挡。3个月后，婴儿虽然透过闭合面看到玩具，但会从箱子的开口处伸手去取玩具。但是，获取偏离视线的目标物这一能力只是解决冲突的一种非常有限的形式。冲突的这一特定形式似乎依赖于额叶背外侧皮层。

90

在本书第3章，我们讨论了4个月大的婴儿在预测事件发生的位置时，会事先转移他们的注视点。我们的研究表明，儿童直到24—30个月之间才能解决模糊序列中正确空间位置的冲突。我们认为这种预期性注视和冲突解决与前扣带回和执行注意系统的发展有关。

2. 言语冲突

Gerstadt，Hong和Diamond（1994）模仿Stroop范式设计了一种言语冲突任务，用于3.5岁的儿童被试。实验准备两张卡片，用于向儿童提示白天和夜晚。一张卡片上描绘的是太阳的线条画，另一张卡片是被星星围绕的月亮。控制条件所使用的卡片没有白天或黑夜的提示。在冲突条件下，要求儿童对月亮卡片回答“白天”，对太阳卡片回答“夜晚”，控制条件下将儿童分为两组，一组对其中一个方格棋盘卡片说“白天”，而对另一个丝带卡片说“夜晚”。不论是哪个年龄段，冲突实验条件的准确分数都显著低于控制实验条件。所有的儿童在每一段的前4个反应系列的反应正确率都在80%或以上，但到了最后4个反应系列，年龄最小的儿童的成绩下降到随机水平。年龄较大的儿童在一段16个系列反应中都能保持高于随机水平的成绩。3.5岁及4岁儿童在冲突条件下的反应时也显著长于控制条件，这说明在面临冲突时，年幼儿童需要更长的时间来规划他们的反应。还有其他研究利用类Stroop任务和威斯康星卡片分类任务，研究31个月大的儿童，但尚未有研究发现3岁以下的儿童能够成功解决冲突。

3. 空间冲突

个体解决同时呈现的刺激事件之间的冲突（如Stroop任务）能力，可以

更直接地反映出执行注意的发展情况。由于这个年龄的儿童还不能阅读，若要研究早期的冲突解决，最为合适的方法是使用位置和自身特性这两个基本视觉维度。

空间冲突任务的设计适用于2—3岁儿童。如图4.3（上方）所示，在这一任务中，在儿童正前方的屏幕的一侧呈现一个简单视觉物体，要求儿童按下与呈现刺激相匹配的键作出反应（Gerardi-Caulton，2000）。恰当的反应键可能是在刺激的同侧（一致条件）或者异侧（不一致条件）。无论靶目标是什么，其优势反应都是按下靶目标同侧的按键。但任务要求儿童抑制这一反应，而是基于刺激本身的特性来反应。儿童按键反应的准确率和速度可以作为指标来衡量解决这一冲突的能力。 91

研究的结果有力地表明，在出生后第3年中执行注意发生了急剧的变化。在这一阶段之初，学步儿童倾向于重复之前的反应。这种重复行为与前额叶的功能失调有关；因此这一发现也说明了，在24个月时执行注意的发展仍然很不成熟。但是，即使在这么幼小的年龄，学步儿童在一致和不一致条件下的正确率已经表现出显著性差异（63%和53%）。在3岁末4岁初，儿童表现出差异显著的反应模式。38个月的3岁儿童在一致和不一致条件下都表现出很高的正确率（分别为92%和85%），同时也确证了不一致条件比一致条件在反应时上较长，与预期相符（反应时延长了30%）。

本书第3章及本章之前所讨论到的眼动任务也提供证据表明，24—30个月的儿童可以解决空间位置之间的冲突，而在成年人，这种学习形式似乎需要获得更高层次的注意以解决冲突。正如预期，3.5岁的儿童在空间冲突任务上解决冲突的成绩与他们在眼动任务中（第3章；Rothbart，Ellis，Rueda & Posner，2003）对两可位置的反应能力呈正相关。因此我们现在可以用眼动的方法来检查婴儿早期到成年期的冲突解决。我们还发现，儿童在冲突任务上的个体表现与他们的延迟满足能力以及父母报告的意志控制能力中的重要方面有关。我们将在第6章详细讨论这些结果。

4. “西蒙说”（Simon Says）

在Stroop任务中，冲突表现于与一个刺激的两个维度之间。我们推断，如果要求儿童执行一个来源的指示，同时抑制另一来源的指示，任务所需解决的冲突的难度更大（L. Jones，Rothbart & Posner，2003）。

这一冲突任务正是“西蒙说”游戏的基础，而此前的研究表明，执行这一任务的能力出现于4岁左右（Reed，Pien & Rothbart，1984）。实验对象是 92

40—48 个月的儿童；当呈现玩具熊时，要求他们执行反应；当呈现玩具象时，要求他们抑制反应（抑或反之）。40 个月以上的儿童执行抑制指导语的能力仅仅是随机水平，并且就反应速度而言，他们对玩具象的错误反应和对玩具熊的正确反应一样快。尽管儿童可以复述出指导语，但他们似乎并不能利用它来控制自己的行为。众所周知，年幼儿童在抑制自己的行为上有困难。但在我们的研究中，仅过了几个月，他们就表现得很完美。

当儿童开始能够完成这一任务时，他们往往会使用身体控制来抑制自己，使自己不去执行玩具象给出的指示。当玩具象给出指示时，他们会把手压到腿下面，或者把手放在膝盖中间。我们很惊奇地观察到他们是如何努力地以身体来控制自己的行为的。在他们获得一些技巧之后，就不再使用这类身体控制了，但他们在对玩具熊的反应中仍然很慢。他们似乎在仔细地考虑指示的来源，看来，他们是通过延缓对玩具熊的反应来达到对玩具象的控制。

5. 注意网络测验

我们不仅针对成年人，而且已经对 4 岁及以上的儿童使用了注意网络测验（图 4.3 底部）。儿童在这个任务中必须对中间鱼进行反应，而忽略两侧的刺激。

我们发现儿童在注意网络测验中的反应速度从 4 岁到成年稳步提高（表 4.1）。但是，注意的成分则表现出不同的时间进程（Rueda，Fan，et al.，2004）。到 4 岁时，定向能力发展得很好，并且此后变化不大。但是，令人惊奇的是，警告信号对儿童的作用要比成年人大得多。正如第 3 章所讨论的，这大部分都发生于出生后第 1 年。即使没有特定的警告，成年人似乎一直都保持一种高度的准备状态，而儿童在靶目标没有预示就出现的情况下似乎会措手不及。

最有趣的是冲突效应。我们发现 4—7 岁有了很大的提高（表 4.1）。但是，7 岁之后则没有发现冲突解决能力的提高。当我们用儿童和成年人两个版本的注意网络测试来比较 10 岁儿童与成年人的成绩时，我们发现他们解决冲突的能力是一样的。当然，成年人在复杂任务表现的许多方面都有所改善，包括注意；但是我们的数据表明，早在 7 岁时，执行注意背后的神经回路的一个关键成分就已经发展了。表 4.1（Rothbart，Posner & Kieras，2006）将空间冲突和儿童注意网络测试的数据结合起来，以作为执行注意从学前期到儿童中期发展的指标。

表 4.1　反应时和解决冲突的时间 *

年龄（岁）	任　务	一致性试验		不一致性试验		冲突效应		研究文献
		反应时（毫秒）	正确率（%）	反应时（毫秒）	正确率（%）	反应时（毫秒）	正确率（%）	
2	空间冲突	3 476	69. 1	3 378	53. 9	−98	−15. 2	Rothbart, Ellis, Rueda, and Posner, 2003
2. 5	空间冲突	2 489	80. 8	3 045	57. 8	556	−23. 0	
3	空间冲突	2 465	90. 1	3 072	80. 3	607	−9. 8	
4	Flanker 任务（儿童注意网络测验）	1 490	89. 4	1 913	77. 1	424	−13. 0	Rueda, Posner, Rothbart, and Davis - Stober, 2004
6	Flanker 任务（儿童注意网络测验）	890	92. 0	1 005	76. 4	115	−15. 6	Rueda, Fan, et al. , 2004
7		828	94. 6	891	93. 9	63	−0. 7	
8		791	95. 0	862	95. 3	71	0. 3	
9		724	98. 1	791	96. 5	67	−1. 6	
10		624	98. 7	693	96. 6	69	−2. 1	
成人		473	99. 5	534	97. 9	61	−1. 6	

* 最上面的三行来自空间冲突任务的研究（图 4. 3），其余的代表运用儿童注意网络测验的研究。

（二）细胞和神经回路

如果了解事件在脑中的发生位置，我们就可借此检验相关区域的细胞结构。尽管前扣带回是一个古老的结构，但有证据表明灵长类动物有明显的进化。人类和大猿似乎有独特的、有别于其他灵长类动物的细胞类型，主要可见于前扣带回和脑岛的 V 层（Nimchinsky et al. , 1999）。尽管目前还没有探明这一细胞的确切功能，但其体积与脑形成之间的高相关表明，它可能在较高级的皮层功能中发挥作用。灵长类动物的这些细胞群邻近发声部位，这使得 Nimchinsky 及其同事推测，这些细胞可能与负责情绪和动作的脑区相联，最终发出了传递情绪意义的声音。

有证据表明，儿童的脑中已经形成了发展这类细胞的联接。我们还知道扣带回的 V 层细胞具有各种形式的多巴胺受体。对于注意缺陷/多动障碍（注意

缺陷多动障碍）的家族遗传研究表明，他们拥有一种多巴胺-4 受体的变体。我们在本书第 5 章考察了它和其他基因对于注意网络发展的影响。

94 尽管目前还没有直接的证据把前扣带回的细胞结构与脑成像研究中检测到的扣带回活动联系起来，但由于这一领域对于情绪和认知加工很重要，因此进行深入的探索是非常重要的。Stroop 任务的动物模型（Washburn，1994）指出了在细胞和基因水平上对这些观点进行探索的途径。

五、努力控制的个体差异

执行注意提供了努力控制的个体差异的神经机制。努力控制是用以测量个体抑制优势反应，作出非优势反应能力的个体差异。

最早将努力控制作为气质的广泛维度之一，是源于对《儿童行为问卷》(*Children's Behavior Questionnaire*）的因素分析（Rothbart，Ahadi，Hershey & Fisher，2001），这是一个用以评估 3—7 岁儿童气质的问卷。这一研究确定了三个主因素，其中包括努力控制的一般因素。努力控制除了知觉和情绪敏感性之外，还包括了注意集中、注意转换和抑制控制等维度。

父母可以观察到儿童控制他们自身行为的能力，并且能够以问卷形式进行系统性的报告。努力控制与任务中的冲突解决能力相关，例如空间冲突和儿童期的注意网络测验成绩（Geradi-Caulton，2000；Rueda，Fan，et al.，2004）。努力控制与冲突解决之间的相关表明，这一时期儿童自我调控能力的显著发展反映了冲突解决的内在机制的成熟，冲突解决则可通过注意网络测验或其他冲突任务来测量。

六、脑的大小

个体解决冲突和努力控制的能力与我们已知的脑发育有什么关系？我们一般的直觉是，脑区越大，意味着执行心理活动的能力越强。这一信念可能源于人们发现艾尔伯特·爱因斯坦的脑下顶叶脑区比控制组脑的相应脑区更大。

95 人们都知道（第 8 章）这一脑区与数字运算有关，因此我们可以合理地推测，这个物理领域中最伟大的思想家也许拥有更大的与数学相关的脑区。想象一下，如果爱因斯坦这一脑区比正常人的脑区要小，那么人们对这一报道的反应会怎样呢？

现在我们可以使用磁共振成像（MRI）技术来直接测量儿童发展过程中脑

区的大小，以确定这一直觉是否正确。尽管有部分研究支持了脑的大小的这种直觉式的想法，但并没有很多数据可以证明，认知上的发展与脑区大小的变化存在相关。美国国家卫生研究院的一项研究以 145 名健康儿童为对象，每隔两年对每个个体的脑进行检查，年龄范围从 4—22 岁（Giedd et al.，1999）。研究发现，这段时期内联结脑的各区域的部分（白质）呈现线性增长。但是，皮层运算所涉及的脑区却先增后减。例如，在 11.7 岁时额叶的大小达到最高值，此后在壮年期就呈下降趋势，因此实际上从 4—22 岁是净减的。这些研究发现与细胞研究的普遍结果一致，即细胞突触的数目和细胞结构的密度在青少年期往往会下降。另一个关于 5—17 岁儿童的脑研究（Reiss，Abrams，Singer，Ross & Denckla，1996）验证了这一发现，研究的结果表明，5 岁后脑的总体容量变化不大，但额区灰质的面积大小与智商测验所测得的智力之间存在相关（0.4—0.5）。

智商测验所测得的智力是总体成绩的一个粗略指标。尽管认知研究常常将智商分数与额叶功能联系起来，但毫无疑问，智商反映的是许多一般性的能力。迄今为止，很少有证据表明对局部脑区的核磁共振测量与智力或人格之间存在着很强的相关。有关气质和人格的理论起源于对儿童和成年人的心理测量和实验研究，这些理论在个体差异的主要维度上相当一致，人们预测这些差异都与局部脑区的面积大小有关。但是到目前为止，极少有形态测量学的研究利用这些理论来检验脑区大小上的差异。

儿童研究证据表明，他们前扣带回面积上存在的个体差异与减少冲突、纠正错误的能力之间存在相关。在关于前扣带回与高水平注意的理论的驱动之下，有研究测量了 5—16 岁儿童的前扣带回大小（Casey，Trainor，Giedd，et al.，1997）。研究发现，右前扣带回的体积大小与儿童执行 Go-no go 任务（对 X 反应，对非 X 不反应）的能力之间存在着显著相关。在这一任务中，儿童必须对 X 刺激尽快作反应，同时要抑制对其他非 X 刺激的反应。在对年龄和其他可能与脑区大小有关因素的数据进行修正后，仍然表现出这种相关。在作为控制条件的反应时任务中，被试对所有刺激作出反应而无须抑制，这一任务与扣带回大小没有表现出相关。

进一步的研究使用了功能磁共振技术和 Go-no go 反应时任务。这一任务与我们前述的取决于集中注意控制的玩具熊—玩具象任务具有相似之处。研究的对象是 7—12 岁的儿童。在 Go-no go 任务与控制任务的对照中，被试对所有刺激作反应，而无须抑制任何反应。无论是儿童或是成人，当要求抑制反应时都表现出前额叶皮层和扣带回的强烈激活。这些激活在儿童身上表现得比成

人更加强烈，也稍微大一些（Casey，Trainor，Orendi，et al.，1997）。此外，任务中对非靶刺激的反应数目（虚报）与前扣带回的激活程度有显著相关。这一发现与扣带回在成人错误检测中的作用相吻合。

了解脑大小的个体差异的另一途径是研究发展性病症。一些病理症状，例如注意缺陷障碍或强迫性人格等，可能与儿童的气质差异有关甚至起因于此，例如活动水平、言语重复症、外倾性、冒险性和其他气质特征（Rothbart，Hershey & Posner，1995；Rothbart & Posner，2006）。若要假定这些病理症状只是正常人格极端化的结果，这样做太极端，但功能失调症状（如注意缺陷多动症）与儿童的一般发展趋势是一致的，如持续性言语反应，寻求更高水平的刺激及无法集中注意力等。

有研究以脑形态测量的方法考察了被诊断为注意缺陷多动症儿童的脑，发现了一些共同的特征，一般涉及前额叶皮层及其皮层下的基底节区域。总体而言，注意缺陷多动症儿童的异常更多表现在右额叶皮层和部分基底节，包括苍白球和尾状核（Filipek et al.，1997）。尾状核有早期出血的儿童，其后被诊断出注意缺陷多动症的风险更高，并更有可能显示出认知控制上的困难（Casey，Durston & Fossella，2001）。在注意缺陷多动症儿童脑中有关基底节和额叶缺陷的这些发现，与这些区域在注意中所发挥的作用是吻合的。

97

七、小结

在成人身上，我们发现认知和情感的控制结构主要是脑的额叶中线（前扣带回）。与认知和情感相关的部分在解剖学形态上是相分离的，但有证据表明它们在实际行为中是相互作用的。这些机制与额外侧和基底节密切相关，但是我们仍未探知中线和外侧结构是如何分担执行控制的功能。

在儿童中期，控制结构经历了显著的发展。两岁半的儿童不能按其主观意志来控制他们的认知过程。当面临的任务中具有两种相竞争的反应时，他们就会失败。在7岁时，尽管在总体上慢于成年人，但儿童解决冲突的效率几乎和成年人一样高。儿童在对刺激的反应强度，以及意志控制的能力上都存在着极大的个体差异。如果要使儿童最好地利用他们所学得的知识，学校环境必须能够适应这些差异。本书第6章更详细地论述了儿童在注意、情感方面的气质差异以及这些差异与他们上学准备之间的关系。

第五章

99

基因与环境

我们在本书中探讨的注意的一般脑机制在某种程度上是由存储在人类每一个细胞中的遗传指令决定的。分子遗传学的研究产生了人类基因组图谱(Venter et al. , 2001)，也使我们更有可能去理解基因在脑发育和行为的个体差异中所起到的作用。分子遗传学研究改变了先天—后天这一传统争论的基础。基因表达依赖于环境，因而，遗传与环境间的相互作用也体现在分子水平上。

对遗传与环境间这一传统争论的解决，意味着思维、情绪和行为都是与生俱来的，同时也受到环境的影响。但是，发生在学校中的这种特殊的教育经验是否能够改变脑发育的进程？这仍然是一个令人困惑的问题。我们已经知道，脑成像研究表明，在教育干预之后，脑会出现新的激活（第7章)，但是，我们目前还不清楚这些经验是否只是让我们看到了对训练任务有特殊意义的脑区，或者，它们是否会对脑网络产生更为普遍的影响。

一、注意的遗传基础

遗传表达对环境具有依赖性，这一观点使我们无需否认社会环境的重要作用便可接受遗传因素对行为科学领域的影响。

关于注意的遗传基础的研究才刚刚起步。本章中我们将回顾注意的遗传基础方面的成果，并将它与特定的教育经验联系起来，同时简要说明理解基因与环境的交互作用的可能性。 100

（一）自然选择论与建构主义观点

尽管很多神经系统在婴儿出生之前便已形成，但是，对于灵长类特别是人类而言，脑的成熟需要长时间的发育过程。脑的神经系统是如何组织起来的呢？有两个基本的生物学观点一直支配着我们对这个问题的理解。一个观点强调遗传的影响，另一个观点则强调学习的影响。主张遗传影响的最强势立场认为，神经元连接在发育期间就被赋予了很高的精确性。基于这一分析，较弱势的立场则认为，经验从先天的全部联结中进行塑造或选择（Gazzaniga, 1994）。这种观点强调神经突触在生命早期的过多生长及其在发育过程中的调整。我们有时会发现很小的婴儿在对语言、数字和物体特征的加工方面具有惊人的能力，这就为上述自然选择论观点提供了支持。持自然选择论观点的人会把重点放在孩子与生俱来的个体差异上，这会产生这样一些观点，例如Gazzaniga（1994）认为，教育就是要找到每个人的脑擅长的东西是什么。

D. O. Hebb（1994）提出的学习法则（Learning principle）简要说明了神经元间的共同激活是如何形成更加牢固的神经元联接的。这一原理认为，共同激活的神经细胞更容易联接起来。Hebb 的思想更偏向建构主义的观点（如，Quartz & Sejnowski, 2000）。这些观点认为，发育过程伴随脑皮质中表征特征的递增。这里，环境使负责视觉、听觉以及刺激的其他方面的知觉系统特异性地组织起来。支持这一观点的证据是，丧失了某种感觉输入的儿童（如，出生时就耳聋）在其他感觉通道的组织上出现了特异性的变化（Neville, 1995）。对于耳聋者，负责外部信息的视觉区可能变大，而负责中央凹信息的视觉区则与视力正常者相同。这些发现强调了经验是如何对神经回路进行重组的，但同时也显示了这种重组的局限性。这些发现支持了神经网络的可塑性，但并不支持那些更极端的观点，例如，Herbert Simon 及其拥护者们曾指出，仅仅依靠数小时的密集训练来建立丰富的语义记忆，就能形成专门的知识与技能。

101 本书将阐述如何将自然选择论与建构主义两种观点结合起来。现有研究表明，自动调节的神经网络是在特定经验的影响下发育起来的，这些经验是人们从监护人（第 3 章、第 4 章）和后来的正规教育（第 7 章、第 8 章）中获得的。注意网络对自动调节的发育起着至关重要的作用，因此在本章中，我们通过报告候选基因如何影响注意网络来进一步整合自然选择论和建构主义两种观点，之后考察可能改变这种发展状况的特定教育经验。

（二）分子遗传学研究的发现

我们在第4章（本书）中已经知道，负责执行注意的神经系统对气质和学习起着关键性的作用。个体能够自主分配注意，这使得他们能够控制更活跃的倾向并抑制优势反应，从而使从属反应得以进行。第7—9章中我们回顾了这种注意网络是如何帮助人们学习学校课程的。但是，为了将注意中的个体差异和候选基因联系起来，我们必须首先理解影响注意系统运行的化学系统。

脑的注意系统会受到皮层下区域不同递质系统的影响。前面我们已经讨论过后顶叶是如何参与感觉刺激的注意定向过程的。第3章中，我们介绍了一些关于清醒猴执行线索检测任务的研究，证明了调控系统在注意警觉和定向机制中的作用。

1. 警觉与去甲肾上腺素

对感觉事件进行定向的一个主要作用在于能够维持警觉状态。当一个人从完全警觉状态变为放松状态，再到困倦状态，他对外界事件的反应速度会显著降低，睡眠时则趋于完全没有反应。在需要被试作反应的目标出现之前呈现警告信号，通过这种方式可以对警觉水平进行操纵。警告信号通过改变生物体的警觉水平来提高生物体对目标的反应速度。对于成人来说，这种改变是非常微小的，而对于儿童来说，改变幅度则会大得多（第4章）。

102

对清醒猴的研究（Marrocco & Davidson，1998）发现，氯压定（clonidine）和氯苯乙胍（guanfacine）等药物能够降低去甲肾上腺素（norepinephrine）递质的有效性，它们似乎能够消除警告信号对反应时间的促进作用。当给猴子服用氯压定时，猴子的反应速度整体降低了；相反，当服用氯苯乙胍时，反应速度增加了；然而，这两种药物对警告信号效应的影响却是相同的（Marrocco & Davidson，1998）。在药物的影响下，当线索能够预示目标即将出现的位置时，猴子的表现并不比没有这种线索提示时更好。使用同一组猴子作被试，在没有药物影响的情况下，出现了明显的警告信号效应。到目前为止，研究者进行的研究都对药物进行了系统的操纵，但一般认为，这些药物作用于蓝斑，从而降低了去甲肾上腺素对后顶叶中细胞的有效性（Marrocco & Davidson，1998）。其他很多研究也证实了去甲肾上腺素对觉醒或警觉功能的影响。

2. 定向与胆碱能系统

东莨菪碱（scopolamine）等药物能对胆碱能系统（cholinergic system）产生影响，它们会影响我们将注意转移到导引位置上的能力，但并不影响警告信号效应。我们知道，外侧顶内沟中包含与注意转移有关的细胞，有一项研究对外侧顶内沟进行了东莨菪碱局部注射（M. C. Davidson & Marrocco，2000）。结果发现，注射后，注意在向注射区域的对侧半球转换时产生困难，但并没有对警告信号效应产生影响。因而，注意的警觉和定向不仅在结构上是分离的，而且，在细胞和突触水平上也以神经递质的形式产生了分离。众所周知，神经递质之间通常在很多水平上都存在相互作用、相互影响。尽管如此，这些研究还是为同一任务中两种神经递质的分离提供了非常清晰的证据，将这两种神经递质与不同的功能联系了起来。

在老年痴呆症发病初期，一些病人的注意定向能力出现异常（Parasuraman & Greenwood，1998）。这些病人还出现了顶叶关键部位血流量减少的现象。老年痴呆症的重要特征之一就是基底额叶中的一个区域出现明显的细胞消亡，这个区域叫做迈内特基底核（nucleus basalis of Meynert），是胆碱能系统一个重要来源。实际上，切除猴子的迈内特基底核，会使它们的注意向线索转移的能力下降（Voytko et al.，1994）。

因此，对老年痴呆症患者进行研究可能有助于我们弄清楚胆碱能系统缺陷是如何影响注意的。一些早期老年痴呆症患者携带载脂蛋白基因（apoliproprotein gene，APOE）的一种特殊类型（等位基因），叫做 e4 等位基因（e4 allele）。这种基因类型的存在与老年痴呆症患者早期的认知能力下降有关系，但是，正常人也携带这种基因的变体。一项实验研究比较了携带 e4 基因变体与不携带该变体的正常人的注意转移能力（Greenwood，Sunderland，Friz & Parasuraman，2000）。研究者观察到，携带该基因变体的正常人在使用视觉线索来引导注意时表现出特定的缺陷。因而，无论是对正常人还是对老年痴呆症患者来说，APOE 基因的 e4 变型可能与注意网络的某种特定功能有关系。

103

注意定向与胆碱能系统的关系促使 Parasuraman 及其同事（Parasuraman，Greenwood，Kumar & Fossella，2005）去研究目前已知的能够影响胆碱能系统的两种候选基因。对于每一种候选基因，他们都对携带该基因中一种类型（等位基因）的人群与携带同一基因的另一种类型的人群进行比较。比较的结果表明，这两个候选基因都能影响视觉定向效率。他们还研究了目前已知能够

影响去甲肾上腺素传递的一种基因，发现它对定向效率没有影响。虽然注意控制要涉及很多基因的参与，但是，注意转移这种特定注意功能只是注意活动的一个子成分，决定它的基因可能要少得多。这个工作表明，我们对参与注意定向的特定脑区和递质的认识可能有助于我们对遗传控制进行探究。如同认知神经科学的其他很多领域一样，在某个层面上理解了某种功能，为我们在其他层面上研究该功能的控制机制提供了基础。

3. 多巴胺与执行注意

另外还有两种异常状态也能产生注意方面的缺陷。注意缺陷多动障碍通常是在儿童 7 岁或 8 岁上二年级或三年级时诊断出来的，此时儿童需要长时间地集中注意力。另一种完全不同的疾病是精神分裂症，通常发病于青春晚期或成年早期，常表现为注意集中困难、思维障碍和幻觉。一般认为，这两种疾病都能以某种形式影响注意，但表面症状却完全不同。

无论从神经系统层面还是神经化学层面上，我们都可以将这两种疾病联系起来。对精神分裂症进行的研究常常表明，该疾病的一个突出特征就是额中线处异常（Benes，1999；Early，Posner，Reiman & Raichele，1989）。Benes（1999）报告说，尸体解剖研究发现，与正常人的脑相比，精神分裂症患者的大脑前扣带回的控制系统存在明显的缺陷（图 5.1）。她在最近的解剖学研究中，将这种缺陷与包括海马、杏仁核以及前扣带回在内的神经回路联系起来。

105

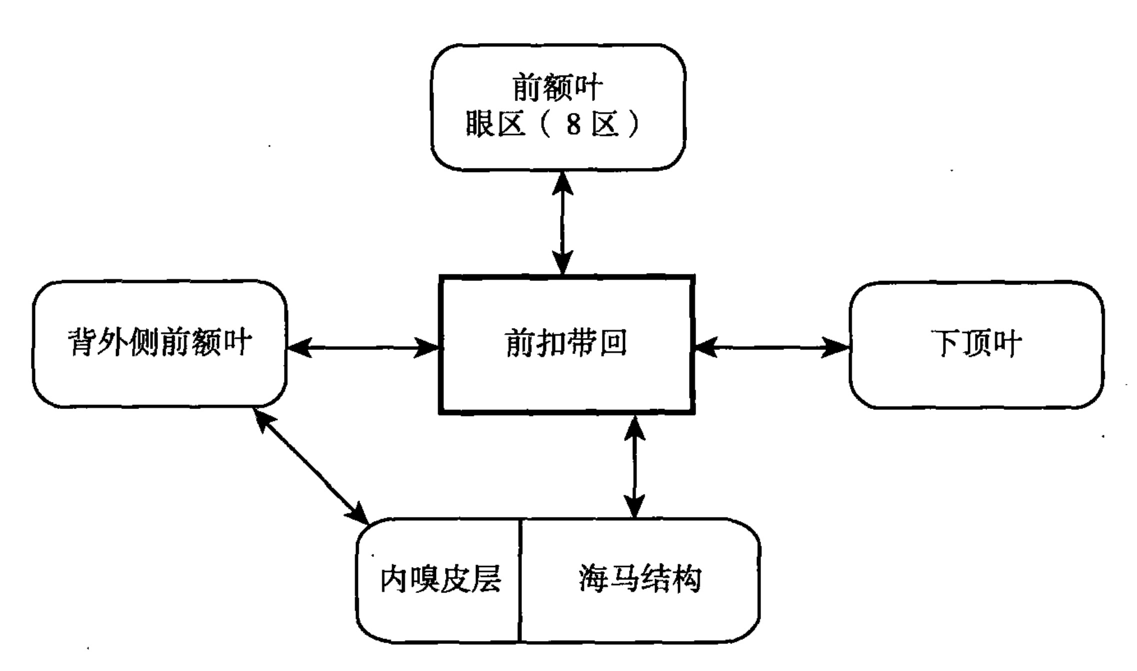


图 5.1　以前扣带回为中心的脑区网络，一般认为与精神分裂症有关（Benes，1995）。

104 前扣带回距离腹侧被盖区只有一个神经突触的距离，而腹侧被盖区是多巴胺神经元的一个来源。此外，所有的多巴胺受体都是在扣带回中表达的，我们通常认为，多巴胺与精神分裂症之间是有联系的。一些用来减轻幻觉和思维障碍症状的药物能影响多巴胺的传递。精神分裂症会影响执行注意，有研究者使用注意网络测验（图 2.7）对这一假设进行了更直接的检验（Wang 等，2005）。精神分裂症患者的执行注意网络出现了明显的异常（图 5.2），而在定向方面只出现了很小的缺陷，在警觉方面没有发现明显的缺陷。

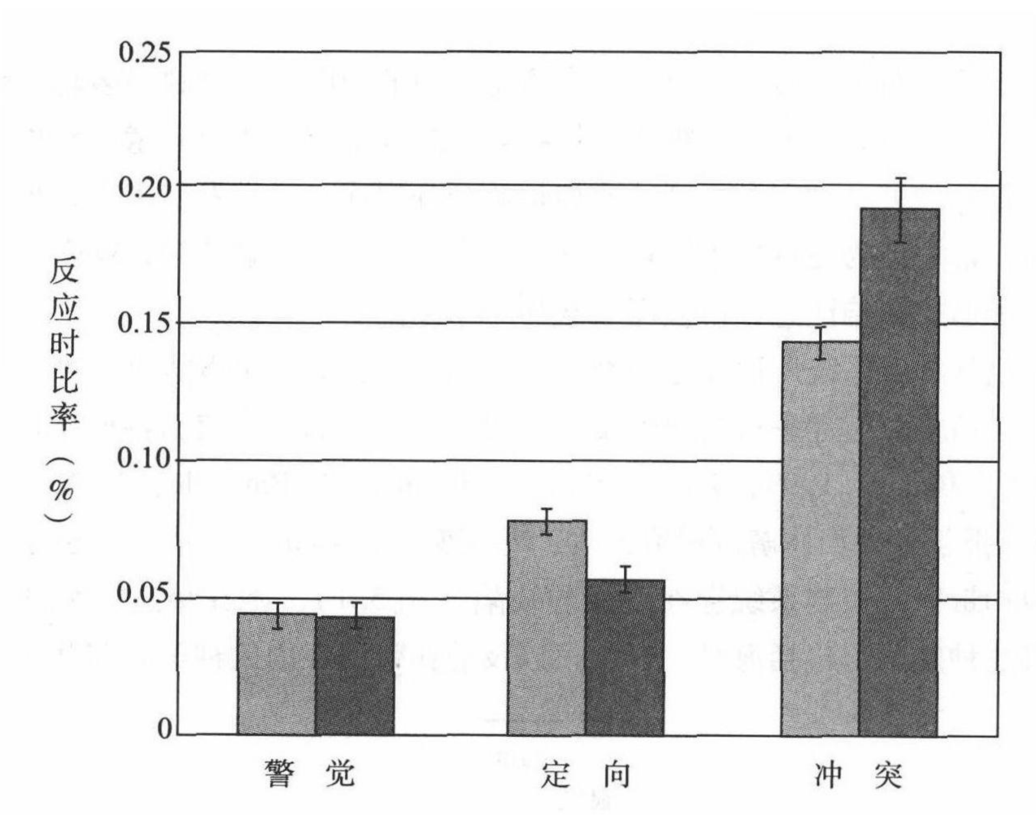


图 5.2　慢性精神分裂症患者（深灰色条）与正常被试（浅灰色条）在注意网络测验中所得结果的对比。精神分裂症患者在冲突方面存在很大的缺陷，而在定向方面只存在很小的缺陷，在警觉方面则没有缺陷（Wang et al.，2005）。

同样，注意缺陷多动障碍通常也与多巴胺有关，这是因为，很明显，用于控制该疾病的一种药物哌醋甲酯（methylphenidate）在某种程度上是通过改变多巴胺递质的有效性而发挥作用的。有研究表明，儿童时期患有注意缺陷多动症的人在成年后会继续表现出该疾病的症状，而且，他们在进行冲突任务——对刺激词的呈现次数作出反应时，表现出显著的异常（Bush et al.，1999）。冲突任务中的词是数字，这些数字有的与被试反应不一致（如单词“二”重复 4 次），有的则与反应一致（如单词“二”重复两次）。患有注意缺陷多动障碍的成人在这种数字任务中的表现只比控制组稍差一点，但与控制组不同的

是，控制组的前扣带回得到激活，患者的前扣带回则没有激活，而是激活了一个完全不同的通路。另有研究（如，Swanson et al.，1991）表明，患有注意缺陷多动障碍的儿童可能在警觉方面存在缺陷。

这些发现表明，尽管注意缺陷多动障碍和精神分裂症的症状和发病年龄存在很大差异，而且，所涉及的其他注意网络问题也并不相同，但是，两者在执行注意方面可能都存在同样的异常。

数字 Stroop 任务和注意网络测验任务表明，注意缺陷多动障碍和精神分裂症患者在执行注意方面存在同样的缺陷，这就为研究该疾病的遗传基础提供了一种新的方法。很多相关研究既采用了基于群体的方法也采用了基于家族的方法，结果表明，注意缺陷多动障碍患者的行为表现似乎与一种特定的基因型相关，叫做多巴胺-4 受体基因（Swanson et al.，2001）。该基因的一种类型 7 次重复等位基因中，在基因的一个区域内有一段 48 个碱基对序列重复了 7 次，这对与该基因（编码区）有关的蛋白是有影响的。该基因的其他等位基因中，这种特定的 48 个碱基对序列只重复 2 次或 4 次。因此，就注意缺陷多动障碍来说，有一种候选基因可能与该疾病的症状有关。

有研究者对经诊断确认出现了注意缺陷多动障碍行为症状的儿童（N = 32）和相同年龄的正常儿童（N = 21）进行了基因分型（Swanson et al.，2001）。之后，比较他们在三个与注意网络有关的反应时任务中的成绩。结果发现，患有注意缺陷多动障碍的儿童比正常儿童的反应要慢，成绩的变化也大得多。然而，当 Swanson 等（2000）将患有注意缺陷多动障碍的儿童分为携带 7 次重复基因和不携带 7 次重复基因两组时，他们非常惊奇地发现，在 3 个注意任务中，出现反应速度慢和成绩变化大的儿童全都是不携带 7 次重复等位基因（7-repeat allele）的注意缺陷多动障碍儿童。

106

已有研究表明，7 次重复等位基因与正常人格特征的某些方面（有时称为感觉寻求或猎奇）相关，但它与外倾性维度也有关系。对于两个月大的婴儿，与不携带 7 次重复等位基因者相比，携带该等位基因的婴儿将脸转离玩具的趋势较强，持续性注意普遍较差（Auerbach et al.，1999）。携带 DRD4 基因长等位基因的婴儿在两个月大时负性情绪较少，对环境限制的不适反应较少。

不携带 DRD4 基因的小鼠在环境探索方面也存在缺陷（Grandy & Kruzich，2004）。这些研究表明，导致注意缺陷多动症的第一种可能是与探索环境的高需求和负性情绪的低需求有关的人格特征变化。在不能充分探索的环境中，注意缺陷多动障碍儿童的注意力可能降低。导致注意缺陷的第二种可能是某种形式的早期脑损伤。在 19 个不携带 7 次重复等位基因的儿童中，有 7 个出现了

反应时非常长、成绩变化大的症状，且一般都伴随着各种形式的脑损伤（Swanson et al.，2000）。

4. 执行注意的遗传力研究

为确定是否有足够的证据来证明遗传因素对正常人执行注意网络发展的影响，以寻找候选基因，一个非常重要的问题就是要确定遗传力。遗传力是一种粗略的测量，它测量的是某些基因对所考察的遗传特征的重要程度。遗传力的研究通常是通过比较同卵双生子和异卵双生子来进行的。同卵双生子的基因完全相同，异卵双生子则与普通兄弟姐妹一样，只有一半的基因是相同的。遗传力的计算假定，同卵双生子和异卵双生子在发育过程中受环境的影响不存在系统性差异。由于该假定在某种程度上受到质疑，因而遗传力仍然只是一种推测。尽管如此，一项小规模研究发现，执行网络的遗传力还是很高的，足以证明寻找特定基因是有道理的（Fan，Wu，Fossella & Posner，2001）。

对参与注意网络测验任务的被试进行口腔 DNA 取样，然后，用这些 DNA 来考察与多巴胺有关的候选基因（不同的遗传等位基因或多态性）的差异。迄今为止，对与多巴胺有关的基因研究已证明，有 4 个基因能够影响执行网络的效率。

5. 行为研究

能够影响执行网络效率的一个基因是 DRD4 基因，我们在将注意缺陷多动障碍与感觉寻求这种人格特质联系起来时，曾讨论过这个基因。研究者还发现，COMT 基因（COMT gene）在很多与心理冲突有关的任务中也与执行注意有关（Blasi et al.，2005；Diamond，Briand，Fossella & Gehlbach，2004）。

107 此外，COMT 基因还与精神分裂症有关（Egan et al.，2001）。对于一种严重的儿童期疾病（22q11 缺失综合症，22q11 deletion syndrome），COMT 基因缺失也导致患者在注意网络测验任务测量的执行注意方面存在困难，而且，增加了患精神分裂症的危险（Simon et al.，2005；Sobin et al.，2004）。其他与执行网络有关的基因包括 MAOA 基因（MAOA gene），它不仅参与多巴胺的合成，也参与了去甲肾上腺素的合成，还包括多巴胺转运蛋白基因［Dopamine Transporter（DAT1）gene］（Fossella et al.，2002；Rueda，Rothbart，McCandliss，Saccamanno & Posner，2005）。

我们前面提到过，对于被诊断为注意缺陷多动障碍的儿童，其 DRD4 基因的 7 次重复等位基因的表征是不均衡的。对未患注意缺陷多动障碍的人进行的

研究为上述注意缺陷多动障碍的研究结果提供了更为完整的视角。7 次重复等位基因虽然与注意缺陷多动障碍有关，但它并不会导致执行网络方面出现困难。而更为普遍的 4 次重复等位基因才会使执行网络出现困难，它的存在似乎与解决冲突任务时出现的更大困难有关。对于正常被试，携带不同的 DRD4 等位基因与被试在冲突任务中的表现是有关的，这为我们判断该基因在注意缺陷多动障碍等疾病中所起的作用提供了额外的支持。详细的进化研究表明，7 次重复等位基因是积极选择压力的结果（Ding et al. , 2002），这表明它有可能传递了一些优势。这种优势可能涉及 7 次重复等位基因与感觉寻求之间的关系，因为感觉寻求这种人格特质可能传递了人类进化过程中的一种优势（Ding et al. , 2002）。上述研究结果都是非常新的发现，还需要进一步确证和探究。尽管如此，当我们要将遗传差异与特定的网络和人格特征联系在一起时，这些发现可能确实是有用的。

6. 神经影像研究

为研究影响神经网络的因素中遗传变异的作用，可以将神经影像作为一种工具。在冲突任务反应时方面存在差异的基因中，有两个基因（DRD4 和 MAOA）在前扣带回脑激活模式上也存在差异，当然该发现研究的是该基因的不同等位基因（Fan，Fossella，Sommer，Wu & Posner，2003）。这一发现如图 5.3 所示。

要在脑活动模式上发现显著差异，所需的被试数量远远少于行为研究中所需的被试数量。研究者认为，BDNF 基因与长时记忆存储有关，报告该基因的研究所使用的被试数量较少（Egan et al. , 2003）。在记忆测验中，要想得到行为上的差异，每个等位基因就需要有几百个被试，而要确定海马激活程度上的差异，每个等位基因组只需要不到 10 个被试就可以了。这些研究结果表明，脑成像技术在研究遗传因素对神经网络的影响上可能会发挥重要作用。

108

到目前为止，我们讨论的这些研究结果主要集中于遗传差异如何影响执行网络的正常效率。另一方面，在第 3 章和第 4 章中，我们曾阐述了一般注意网络是如何对人的发育过程起到重要作用的。相同的基因在不同的个体间存在差异，研究者可能会证明，正是这些在个体间存在差异的基因将在这些注意网络的一般发育中起到重要作用，而且，未来它们也将为正常发育和疾病提供线索。

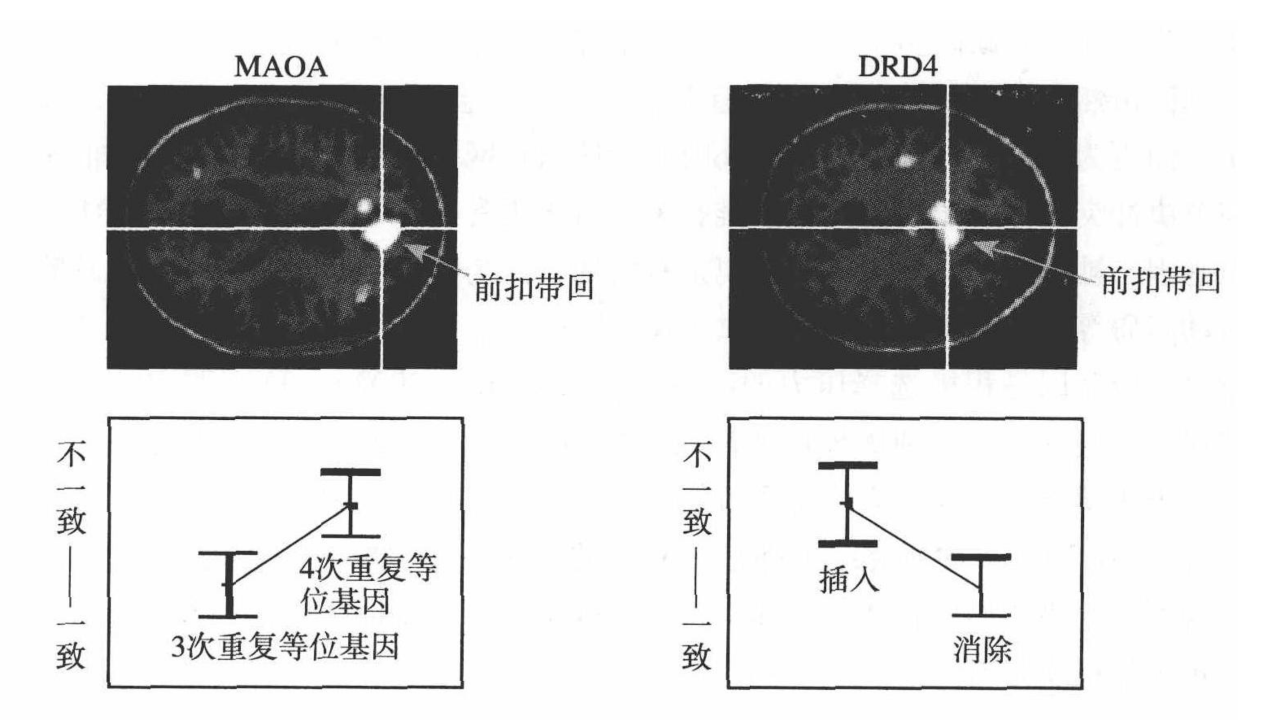


图 5.3　携带不同等位基因型的被试在注意网络测验中的激活脑区图。从错误率结果中可以看到，两个基因（MAOA 和 DRD4）的不同等位基因型在执行注意网络的效率上存在差异（见图的下半部分）。在一项神经影像学研究中，两种基因型的前扣带回激活模式也不相同（见图上半部分中的箭头）。摘自 "Mapping the Genetic Variation of Executive Attention onto Brain Activity," by J. Fan, J. Fossella, T. Sommer, Y. Wu, and M. I. Posner, 2003, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 100, p. 7409. Copyright 2003 by National Academy of Science, USA. 经允许重印。

二、注意的训练

109　　某些特定的经验会改变脑的功能，其中一种就是突然的脑损伤。脑损伤经常会使人丧失集中注意的能力，也会造成注意和短时记忆方面出现其他困难。脑损伤病人一般会出现注意集中困难、注意分散、健忘、很难同时做两件或多件事情，与注意密切相关的记忆方面也存在问题。一个人的注意能力即使只有相对很小的减退也会使他学习新事物的能力显著降低。注意缺陷还存在于执行注意中。病人主诉和实验室研究证明，病人在注意资源的分配、任务间的转换、同时处理两个任务的能力以及在面临非常规情境时克服自动反应等方面存在问题。这些涵盖了执行注意的所有方面。

（一）注意的康复

颅内损伤病人的康复很大程度上要依赖于教育与社会支持、练习和加工训练的共同努力。教育与社会支持向个体提供脑损伤的相关信息，并向他们提供策略来帮助处理脑损伤造成的后果。此外，还向他们提供机会，让他们在一种支持性环境中分享他们对情况变化的感受。

练习指的是对某项任务进行特殊训练以提高病人在该任务中的成绩。练习可能是治疗中需要事先计划的部分，或者说，练习可能是通过对事先设计好用以确定进一步测量的测验进行重复施测来实现的。如果练习的结果能够适用于其他未练习的任务，那么，我们会发现，仅仅通过练习也能更广泛地提高成绩。

注意加工治疗（Attention Process Therapy，APT）旨在利用一个治疗程序来提高病人在一系列注意任务中的成绩，它是预先设计好的（Sohlberg & Mateer，1989）。练习包括仔细聆听声音任务，在计分纸上标记出听到的声音，以及其他很多需要持续注意听觉信息的任务。有几项研究报告了注意加工治疗能够提高记忆、学习以及执行控制某些方面的成绩（Sohlberg & Mateer，1989）。

有一项研究对注意加工治疗训练和教育与支持方法进行了比较（Sohlberg，McLaughlin，Pavese，Herdrich & Posner，2000）。该研究使用10个神经心理学测验来评估干预后的变化。研究的是定向、警觉和执行注意网络以及工作记忆。为确定治疗是否使病人在日常生活中的期望有所提高，研究者对病人及其护理者进行了一系列的问卷调查和结构访谈。

110

该研究的结果为获得性脑损伤病人康复治疗策略的不同效果提供了支持。无论是通过重复评估任务还是通过使用注意加工治疗训练一般性加工，训练都提高了病人的成绩。相比之下，向病人传授有关脑的知识，让他们以系统的方式来看待自己的缺陷，这种方法似乎只改进了病人的态度，却没有提高注意能力。基于这些结果，我们推测，向儿童讲授脑以及随着学习的进行脑是如何发生变化的知识，这种方法本身可能就是一种很好的教育工具。

关于注意加工治疗对执行控制和工作记忆的改进效果，结构访谈中，病人自我报告的效果比神经心理测验检查出来的效果更显著。病人还报告，注意加工治疗后，认知功能的变化更大，而进行脑损伤知识教育后，社会心理功能的变化更大。认知功能变化较大的病人在执行注意任务上也表现出较大的改进。

（二）发展性干预

有证据表明，颅内损伤后，某些方面的执行注意可能是可以恢复的，我们在第4章中也讨论过2—7岁的儿童出现的重要发展，这些研究结果都增大了这样一种可能性，即执行注意的早期训练可能对各种认知和情绪行为产生有利的影响。

1. 动物研究

数字Stroop任务中，恒河猴和黑猩猩在经过了大量的训练之后，便能够执行数字Stroop任务。目前研究者已经知道，成人被试在执行该任务时，前扣带回得到激活。动物需要接受多个月的训练才能执行这样的任务。关于训练方法，最开始就是让它们学习如何使用操纵杆来追踪物体（Rumbaugh & Washburn，1995）。在训练的一个阶段，动物要学会注意物体，即使物体不在视野中，也要对物体即将出现的地点进行预测。另一个阶段，训练动物从两个物体中选择一个。刚开始只让动物处理相对简单的问题，比如，选择与它们先前看到的物体相匹配的那个物体。它们要适应在匹配物体之前等待长短不同的时间。此外，还要训练它们去理解数字所表示的数量。呈现一个数字就会给予一定的奖励，奖励的数量与数字所代表的数量相对应。这种训练针对数字Stroop任务中的测试，该任务中，要求动物将操纵杆移向两个物体阵列中数量较大的一个。一段时间的训练后，再使用数字让动物判断，数字的数值与物体阵列的数量可能一致也可能不一致。

111

Washburn（1994）在一项研究中发现，猴子在数字Stroop任务和其他冲突任务中的反应时长短与人类相似。但是，猴子犯的错误更多，尤其是在不一致条件下。图5.4是人类和猴子得分的比较。

另有研究表明，线索有助于使被试将注意转移到靶位置，它对猴子比对人更有效。但是，通过执行注意进行的奖励对人类比对猴子更有效。一般而言，猴子测验的结果与执行注意尚未成熟的年幼儿童更相似，而与成人不同。

Rumbaugh和Washburn（1995）的观察发现，动物是喜欢执行这些任务的，它们尤其可能喜欢选择在特定时间里将执行哪个任务。研究者还观察到，训练后，动物的攻击性有变少的趋势，社会性则有增加的趋势。这些观察结果与下面的观点一致，即认为执行注意的训练可能会对认知和情绪任务都产生影响。这种关系与图4.2所示的前扣带回对两种任务类型的共同影响相一致。

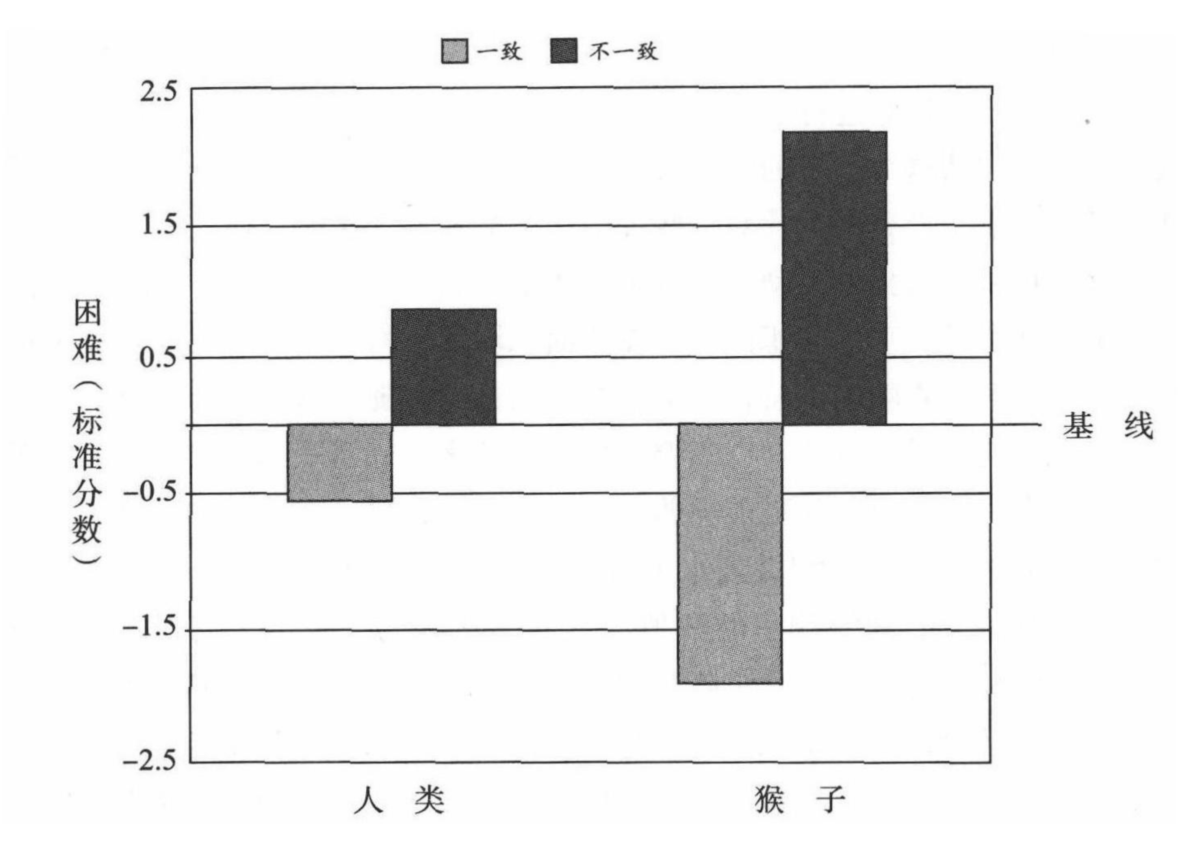


图 5.4 人类与猴子的冲突解决分数比较。图中包含数字 Stroop 任务中人类和猴子的数据。y 轴表示在一致和不一致两种实验条件的相对难度。在一致条件中，数量较多的物体对应的数字也较大；不一致条件中，数量较多的物体对应的数字则较小。猴子比人类成人表现出更大的干扰效应。经 D. A. Washburn 许可重印。

这些动物观察研究衍生出一个问题，那就是，将研究猴子所使用的实验任务用于研究年幼儿童，同样对儿童进行系统的训练，是否有可能也对儿童的认知和情绪控制都产生影响。很明显，对儿童进行的实验室研究中，使用的测试次数不可能与对猴子的研究中相同，但是，进行一些训练以使儿童的执行注意在发育期间得到细小的改进，这可能还是可以实现的。 112

2. 儿童研究

我们创造了一系列的训练任务，旨在帮助学前儿童发展执行注意能力，这些任务改编自之前以灵长类动物为被试进行的一项研究，训练猴子在太空中工作（Rumbaugh & Washburn，1995）。每个程序都是以儿童喜欢的任务形式进行的，旨在教儿童学习一系列的累积性技能，从而使执行注意的各个元素能够得到训练。我们选择了 4 岁和 6 岁的儿童进行测验，因为我们已经证明，在 2.5—7 岁之间，通过情感冲突任务测量的执行注意正处于发展中（Rueda et al.，2005）。我们认为，4 岁和 6 岁儿童应该正处于这一注意网络的发展过程

中，也是改进的最好时机。

图5.5对训练任务进行了说明。上半部分呈现的是一名正在运用操纵杆的被试和实验者。从这个孩子的脸上我们可以看出，她在执行训练任务时投入了高度的注意。下半部分的图片对一些程序作了解释。开始时，研究者教儿童使用操纵杆去控制一只猫的移动。儿童必须将猫移到草地上，但又不能进入泥沼中。几个测试之后，草地面积减少，泥沼面积增加。另外一项任务要求孩子将猫移到伞下，并一直将猫保持在伞下，而伞的位置是随机移动的。操纵杆训练之后，便要求儿童进行预测。一只鸭子跳进池塘中，并沿一条直线游动。儿童必须将猫放在一个位置，使猫能与鸭子会合。起先，鸭子在其游动轨迹中是可见的，但随后的测验中，它潜到水下看不到了。有几项任务涉及工作记忆训练。研究者训练儿童理解数字的数值（大多数儿童已熟悉这些数字），训练后，让儿童将操纵杆移动到两组阵列中较大的一组上。冲突任务测试中，在左边呈现较小的数字，右边呈现较大的数字，而较小的数字个数较多，较大的数字个数较少。因而，与猴子做的任务相同，儿童必须解决阵列中数字的数值和数字的数目之间的冲突。

3. 训练效果

113 因为这是训练任务中最初的测验，所以控制组儿童要么参与前测、后测，要么观看互动性的视频。两组4岁儿童和一组6岁儿童参与了训练。每个实验组和控制组都由12名儿童组成，选自俄勒冈州尤金地区自愿参加的实验者。这些研究只有5天的实际训练时间，每天大约30—40分钟，此外，还有1天的训练前评估和1天的训练后评估。

114 在训练前评估和训练后评估这两天里，儿童要戴上128导的头皮电极的网罩来进行注意网络测验，通过脑电的方法来测量脑的活动水平。还要对他们进行智商测验，同时让他们的父母填写《儿童气质量表》（*The Child Temperament Scale*）。我们认识到这种训练在数量上仅为最低限度，完全不同于以猴子为被试进行的几十万次测试。其结果也不同于学校环境中一整年都在进行的注意训练。然而，由于被试都是正常的自愿者，我们觉得，我们最多只能要求对孩子及其父母进行7次访问。我们希望获得一些线索来判断这些训练是否有用，如果有用，又是如何起作用的。

前测和后测的总体反应时结果、注意网络测验任务中各种网络的分数见表5.1。为比较训练效果的相对大小，我们通过呈现4—6岁间发生变化的百分比来表示两年的正常发展所带来的变化。两年的发展使总体反应时（负号表示

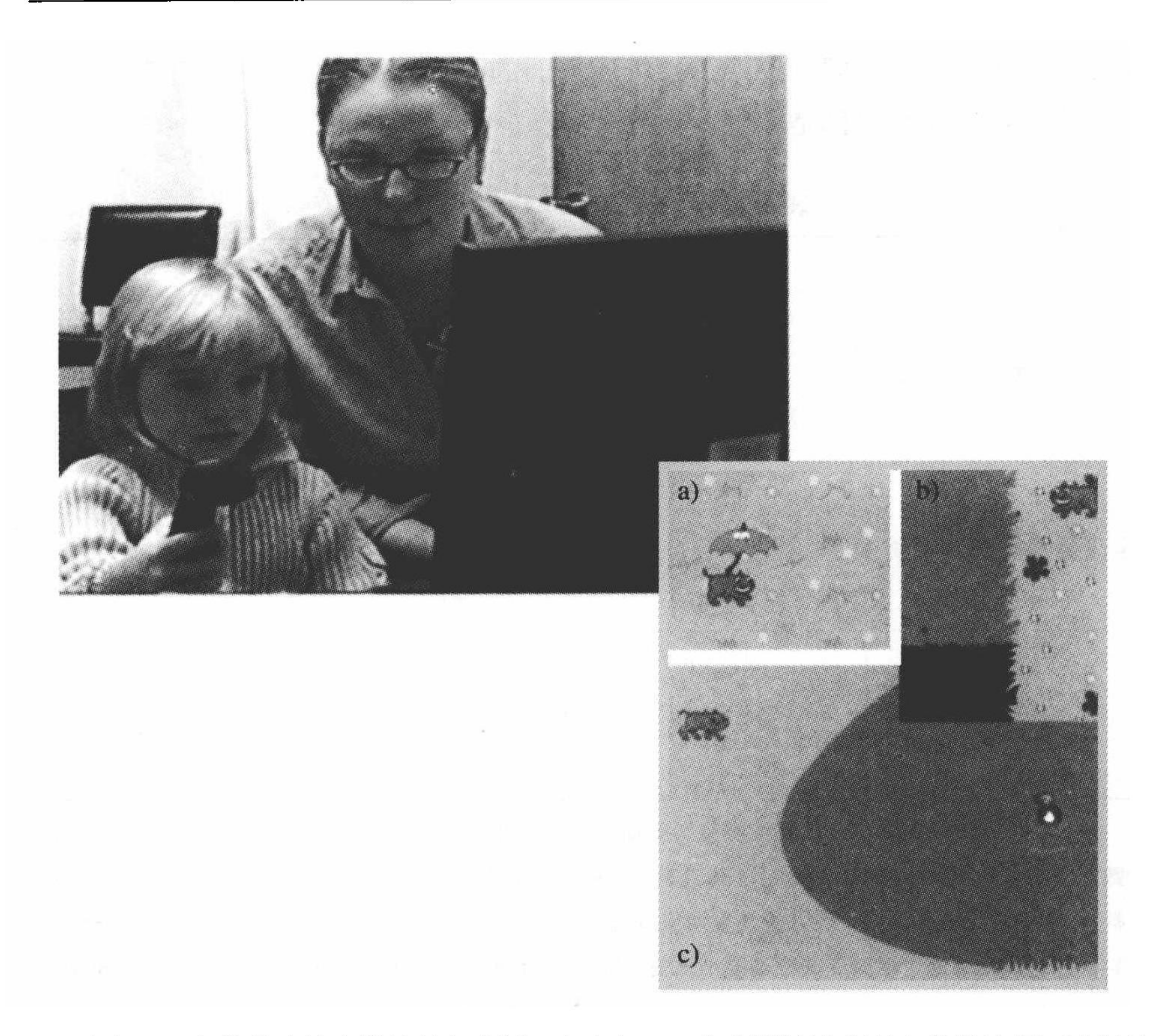


图 5.5　年幼儿童注意训练任务实例。左上角：一名 4 岁被试在研究者的注视下进行注意训练。右下角：举例说明注意训练程序中的几个任务。儿童学习使用操纵杆控制一只猫，使猫不被雨淋（a），将猫移动到草地上（b），当鸭子离开池塘时，让猫抓住鸭子（c）。

年龄大的儿童反应更快）大大提高，冲突任务反应时和错误率也大有改进。与控制组的正常发展所带来的变化相比，训练组在反应时和冲突任务得分上也都有所改进，且改进的方向与控制组相同，而变化的百分比则要小得多。

我们还使用一种智商测验方法来考察训练是否有可能对与训练活动没有关系的其他测验方法也起作用（表 5.1）。我们使用《考夫曼简明智力测验》（*Kaufman Brief Intelligence Test*，K-BIT）（Kaufman & Kaufman，1990）和一个儿童智商测验，儿童智商测验中包含两个独立的分量表，即词汇（vocabulary，VOC）和对视觉信息进行类比推理的矩阵任务（matrix tasks，MATs）。训练前，实验组和控制组在总体智商、词汇和视觉矩阵量表上的得分是非常相近的。我们发现，训练使总体智商和视觉矩阵量表（MAT）得分都提高了。同样，训练导致的智商变化与正常发展两年所带来的变化方向相同，但变化的幅

度要小一些。正如我们所预期的，气质方面的得分并没有随训练发生变化，无论实验组还是控制组都是如此。

表 5.1　训练效应与年龄效应的比较

任　务	分　数	训练效应	年龄差异
儿童注意网络测验	总体反应时	-12.6	-43.8
	总体错误率	-18.1	-86.3
	冲突	-32.0	-63.8
考夫曼简明智力测验	词汇	+6.1	+28.0
	矩阵任务	+9.6	+51.1
	智商	+7.3	+36.4
儿童行为问卷	激动性	+0.5	-2.1
	努力控制	-1.5	+5.0
	负性情感	-0.8	-7.1

注：表中数据为训练使注意网络测验、智商和气质发生改变的百分比，即[（训练后分数-训练前分数）/ 训练前分数]×100，或年龄差异带来的改变的百分比，即［（4 岁时分数-6 岁时分数）/ 4 岁时分数］。值得注意的是，训练使儿童注意网络测验和智商发生的所有改变的方向都与 4—6 岁这一年龄差异带来的改变相同，但改变的幅度要小一些。出自“Training, Maturation and Genetic Influences on the Development of Executive Attention,” by M. R. Rueda, M. K. Rothbart, B. D. McCandliss, L. Saccamanno, and M. I. Posner, 2005, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 102, p. 14934. Copyright 2005 by National Academy of Sciences, USA. 经允许重印。

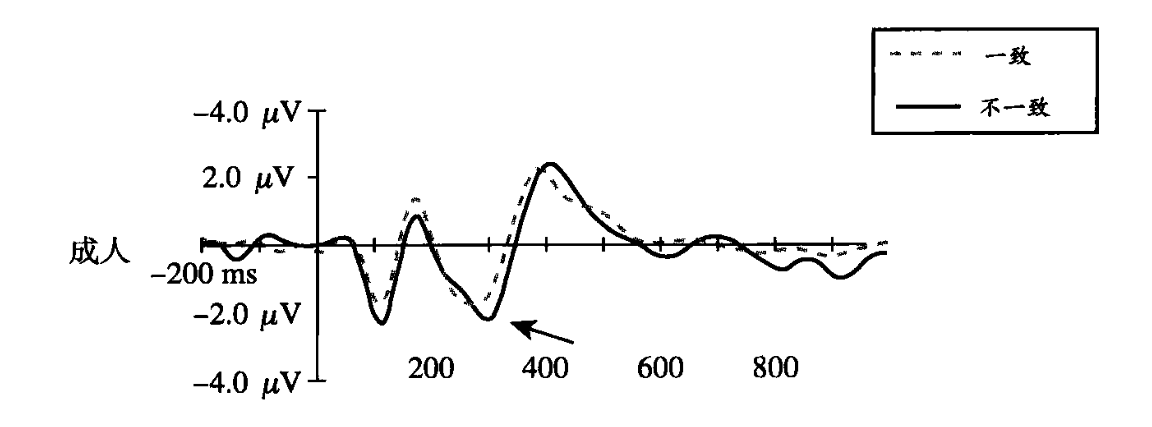
115

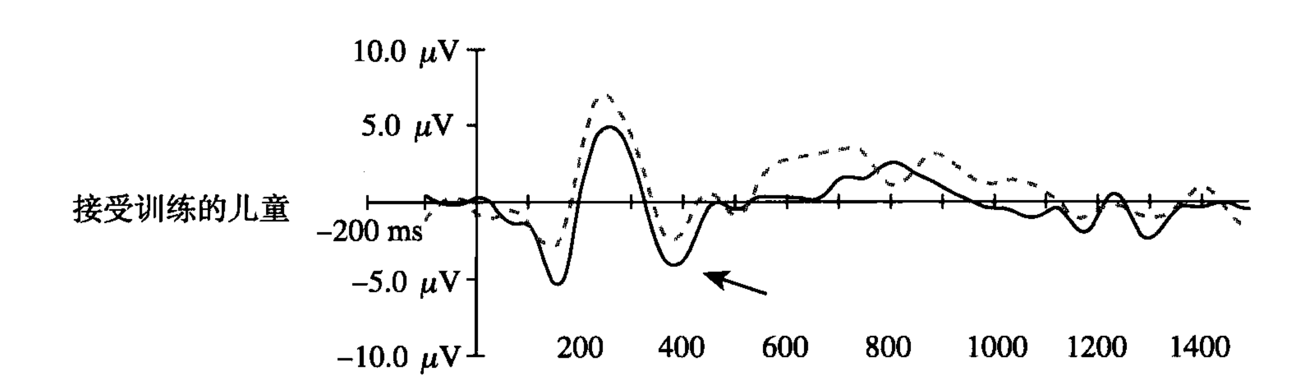
4. 脑电图数据

训练前一天和训练后一天，我们让孩子们参加注意网络测验，并记录 128 导头皮电极的脑电信号。先前对成人的研究结果（Rueda, Posner, Rothbart & Davis-Stober, 2004; van Veen & Carter, 2002）表明，冲突任务过程中，前扣带回发出一种电信号（N2），它可从头皮上记录到。对于成人来说，不一致测试条件下产生的 N2 要大于一致条件（图 5.6 成人图中的箭头）。对于儿童来说，无论是测验前后的控制组还是训练前的实验组，都没有出现这种 N2 效应（图 5.6）。然而，训练之后，接受过训练的儿童出现了与成人一样的 N2 效应。

116

这些结果表明，训练可能会改变参与自我调控的神经网络，从而使儿童在冲突相关任务中的反应更像成人。我们发现，对于 4 岁儿童，训练带来的改进在很靠前部的电极处最大，该部位涉及前扣带回的情绪区，而对于 6 岁儿童，训练





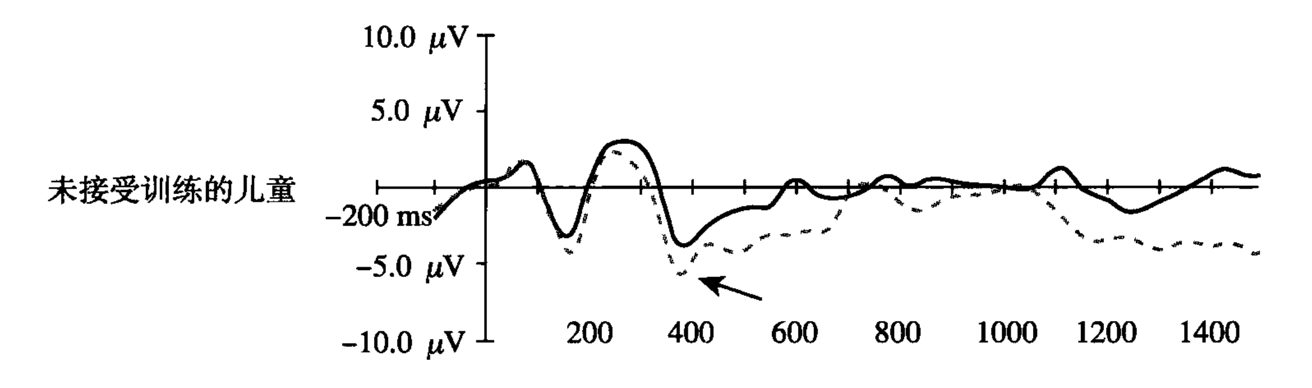


图 5.6. 接受过与未接受注意训练的儿童与成人的头皮电活动比较。要注意，训练后，受过训练的儿童的头皮电活动与成人相似，而未受过训练的儿童则并不相似。箭头处指的是 N2，已有研究表明，该成分与冲突有关，发生源位于前扣带回。出自“Training, Maturation and Genetic Influences on the Development of Executive Attention” by M. R. Rueda, M. K. Rothbart, B. D. McCandliss, L. Saccamanno, and M. I. Posner, 2005, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 102, p. 14935. Copyright 2005 by National Academy of Sciences, USA. 经允许重印。

带来的改进似乎在更靠近前扣带回背侧部最大，该部位负责认知调控（Rueda et al. , 2005）。

我们对参与训练研究的6岁儿童进行了基因分型。由于样本量很小，我们发现，与成人的执行注意有关的四个多巴胺基因中，只有DAT1的数据足够用来对两种等位基因进行测验。为执行该测验，我们将实验组和对照组中的儿童结合在一起，然后考察两种条件下注意网络测验的成绩。我们发现，这两个等位基因中，携带其中一种基因的被试在冲突网络中的成绩显著差于携带另一种的被试。此外，根据家长在气质问卷中的报告，携带该等位基因的被试努力控制水平较低。根据脑电测量结果，他们的冲突调控能力也较差。这些振奋人心的结果表明，在儿童期，儿童携带的基因不同可能说明他们的自我调控能力也不同。如果真是这样的话，那么，我们就有可能选择更需要注意训练的儿童来详细研究基因型与训练效果的关系。

我们发现，训练任务适合于学前儿童，他们不仅喜欢这样的任务，而且也能够执行这些任务。训练研究也表明，训练后，儿童的执行注意得到了普遍的改进。我们还发现，智商得分在训练前后也存在显著差异，尤其是在矩阵测验中，这里的矩阵测验与成人瑞文矩阵测验（the adult Ravens' Matrices test）相似。

117

考虑到接受训练的样本量较小，而且训练时间很短，这一发现非常值得注意。有研究者对年龄较大些的注意缺陷多动障碍儿童进行了工作记忆训练，也得到了类似的结果（Klingberg，Forssberg & Westerberg，2002）。该研究发现了与工作记忆有关的脑区变化（Olesen，Westerberg & Klingberg，2004）。我们的研究与Klingber等人（2002）的研究都发现，训练提高了与该训练没有关系的一般智力测量的成绩。为确定观察到的这些变化是否真的存在，这些变化随着时间的推移是否会保持下来，以及它们是否会使大脑网络发生重要变化，我们还需要对上述研究结果进行重复性验证，验证工作应采用数量更多的正常儿童和注意缺陷儿童，训练的时间也应该更长些。

这方面的证据一直在积累中，通过使用某种形式的快速电子游戏甚至都可以对成人某些方面的注意进行训练（Green & Bavelier，2003）。这种训练可能主要是在存在很多分心刺激的情况下影响定向网络。这种训练是否也能改变执行网络，这个问题可能是未来研究的重点。

目前，对于训练来说，是否可能存在与神经网络的快速发育期相关的关键期，或者，注意训练是否在任何年龄段都同样有效，我们还不清楚。即使在任何年龄都可以进行训练，在入学前或入学时通过训练来提高注意能力仍然具有巨大的实践意义。可能确实如此，因为在学校教育早期获得成功是非常重要的，而且，如果儿童在小学就要学习的语文和数学等重要领域上准备不足的

话，结果是非常糟糕的。

5. 学校中的注意训练

尽管已经证实，基于计算机的矫正方法对儿童早期注意力训练是非常有效的，但这不可能是唯一的方法，甚至不能说是最好的方法。儿童需要在社会环境中获取经验，而社会环境也可以用来帮助儿童训练执行注意。一些学校，特别是在中欧，采用了一些学前教育的方法，旨在降低年幼儿童注意技能上出现的社会经济学变异和遗传变异，从而可以使儿童在进入小学时互相之间差距不大，小学期间就可以对这些孩子一起进行相同的教育。为达到这一目标，他们使用了一些方法，包括对注意、听力和注意能力等技能成分进行训练（Mills & Mills，2000）。

118

对于年龄最小的群体，Mills 和 Mills（2000）在匈牙利的幼儿园使用了几个简单而有效的注意发展工具进行观测。用得最多的是视线接触训练（例如，儿童围着老师坐成一圈，每个儿童都要在接触到老师的视线之后才允许离开群体）。在一个与此相关的训练中，老师们使用了各种不同的停止—开始游戏。游戏中，要求孩子们做不同的活动，当听到一个特别的信号时就必须停下来，例如，一声鼓响，乃至一个特定的数字或敲击节律。

对于年龄稍大些的儿童，Mills 和 Mills（2000）观测了更为复杂的听力和听觉记忆游戏。虽然这些训练主要以音乐课为主，但它们却是跨学科的。最常见的可能就是区分不同乐器的声音以及将乐器与其声音进行匹配。例如，呈现六种乐器，然后轮流演奏这些乐器；将一个孩子的眼睛蒙起来，让他拾起一个乐器，演奏一下，然后把它放回原位；然后让这个孩子去辨认刚才拿的那个乐器。

随着儿童的注意和听力技能的发育，开始让儿童去从事一些能够提高听觉记忆的游戏和活动。这些游戏能够增强注意和听力技能，而且，随着儿童年龄的增长，游戏对儿童的要求也越来越高。例如，在匈牙利观察到的一个典型游戏中（Mills & Mills，2000），让一组 5 岁大的儿童传递豆袋，当老师喊停时，拿着豆袋的儿童要说出 0—5 之间的一个数字；然后继续循环传递袋子，直到老师再次喊停，另一个儿童再给出一个数字；再次循环传递袋子，当老师第三次喊停时，拿着这个袋子的儿童就要说出前面两个数字的和。

匈牙利教育部的幼儿园手册（Mills & Mills，2000）特别强调音乐课对记忆发展的作用，认为 3—4 岁的儿童应该学习背诵六个短童谣。4—5 岁时，应该在有老师帮助的情况下唱 3—4 首歌。5—6 岁时，应该自己能唱 10 首歌。

事实上，艺术似乎是使儿童产生兴趣的一种好方式，因而也是获得网络训练所必需的高水平注意的一种好方式。

蒙特梭利教育传统也强调通过运用趣味性的材料来训练儿童集中注意力（Lillard，2005）。蒙特梭利以及其他研究者都指出，随着儿童注意集中能力的变化，他们的行为也变得正常化，并且表现出更多的平静、喜悦、友爱和对其他人的尊重（Montessori，1917/1965）。

119 我们相信，本章和第 4 章所阐述的研究支持针对学前儿童的训练，这种训练将使儿童对自己的行为能够进行更多的自我控制。这些训练将适于为低年级儿童学习特定科目准备相应的方法。虽然心理科学已经证明大多数学习是领域特异性的，但是，注意作为所有外显学习领域中一个重要方面，是具有独特性的。这种独特性表明，在上学前的准备阶段进行注意训练是很有用的。我们相信，应该在全国范围内优先考虑采用最好也最合适的方法，来帮助所有的儿童达到自我调控的重要目标。对于这些方向的一些建议见第 10 章。

三、小结

本章分析了基因和经验在塑造脑注意系统的神经网络中的作用，也探讨了与定向注意和执行注意的个体差异相关的特异基因。这些基因可能在这些网络的发育过程中非常重要（本书第 4 章对此进行了讨论）。

尽管基因在神经网络的发育中起了重要的作用，但特定的经验也可以改变神经网络工作的效率，这一点也是很清楚的。脑损伤后，训练能够改进执行注意，此外，训练还能够提高儿童的成绩以及对此起作用的神经网络。训练能够改变行为、改善负责执行注意和自我调控的神经网络，根据猴子研究的训练任务而改编的研究为此提供了一些证据。这些结果支持了进行学前注意训练的作用。第 7—9 章进一步研究了注意在特定学科发展中的作用。

第六章

气质与学习

从出生开始，儿童就表现出不同的活动水平、抑郁倾向、定向和正性情绪。过去30年来，已经对儿童气质上的个体差异进行了集中的研究，这对于儿童的学习具有重要意义。我们将气质定义为个体在情绪、活动和注意领域的活动性和自我调控上的体质性（constitutionally）的个体差异（Rothbart & Bates，2006；Rothbart & Derryberry，1981）。气质是具有生物基础，其发展受到基因、环境和经验的影响。气质反应性指的是对内外环境刺激的情绪、运动和定向等各类反应的起始时间、强度和持续时间。反应性描述的是很广泛的行为维度，诸如正负情绪性，或者更为具体的生理反应，例如心率反应。气质还包括了自我调控上的个体差异（在本书第4章论及），自我调控对反应性有调节作用。 121

气质系统的网络是我们大家所共有的，只是个体在特定的气质倾向的强度上存在着差异。研究者在过去30年间力图确定气质的基本维度，他们经常发现初级情绪上存在着差异，包括恐惧、愤怒—挫折、悲伤以及正性情绪。这些情绪作为动机的一部分，有助于趋向、回避或对抗环境刺激和他人。气质的个体差异也体现于注意上（包括更具反应性的定向）和努力控制之上（包括更自主的注意集中和转移）。

脑成像技术已经用于研究情绪和注意的神经系统，观察注意和情绪之间如何相互影响（图4.2；Rothbart & Sheese，待出版）。在本章中，我们将考虑作为气质基础的一些基本的情绪和注意系统，它们对课堂中行为表现的影响，以及与儿童学习和解决问题的动机之间的关系。首先，我们讨论气质系统及其可能的脑机制，之后我们将把气质与学习、教育联系起来讨论。 122

一、气质的发展

许多理论者原本认为，气质在发展的早期已经固定，此后也少有变化（例如，Buss & Plomin，1975）。但之后我们已经认识到气质会随着发展而改变（Rothbart，1989b；Rothbart & Bates，2006）。在生命早期就可观察到儿童以恐惧、挫折和正性情绪作出反应的倾向性，以及他们对环境事件的定向反应，但正如本书第4章所讨论，自我调控性的执行注意发展得相对较晚，并且在学龄早期还继续发展。由于行为控制和情绪调控中所涉及的执行注意在不同个体身上千差万别，因此一些学龄期儿童可以轻而易举地控制情绪和行动，而另一些儿童却缺乏这方面的能力。

到目前为止，主要的气质理论几乎都强调气质中较具反应性的方面，包括正负情绪、对奖赏与惩罚的敏感性以及对刺激的唤醒等。依据提示奖赏或惩罚的信号，个体的行为似乎还受控于他们对事件或物体的趋避倾向。根据观察，更为外向的个体对奖赏敏感，倾向于迅速接近新奇的刺激或可能有回报的刺激；更为胆怯或内向的个体则对惩罚敏感，表现出兴奋的抑制或撤销（Gray，1982）。但是，最近发现的努力控制系统能使个体能在即时的惩罚提示下趋近，在即时的奖赏提示下回避。除此之外，努力控制的发展对于社会化的内化甚为关键。

有证据表明，早在婴儿时期就存在着广义维度上的外向性、负面情绪和定向调控（Rothbart & Bates，2006）。通过对3—7岁《儿童行为问卷》也确定出广义和狭义的维度（Ahadi，Rothbart & Ye，1993；Rothbart，Ahadi，Hershey & Fisher，2001）。

123 第一个广义维度是外向性（外向性），其组成包括正性期望、高强度愉悦（感官刺激寻求）、冲动性、活动水平的量表及害羞情绪的负性压力。第二个广义维度称为负性情绪，其相关维度包括不适、恐惧、愤怒—挫折和悲伤，以及负相关的抚慰下降反应（soothability-falling reactivity）。第三个维度是努力控制，相应维度包括抑制控制、注意专注、低强度愉悦和知觉敏感性。

努力控制是与执行注意的发展相关的气质变量。努力控制代表的是儿童抑制某一优势反应，以执行一个非优势反应，并制订计划和检测错误的能力。若要了解气质对行为的影响与所涉及的内在注意网络之间存在的联系，努力控制非常重要。

（一）气质的情绪方面及神经加工

情绪是广泛的整合系统，可调整情绪、思维和行为（LeDoux，1989）。脑的物体识别系统和空间加工系统所处理的问题是："它是什么?""它在哪里?"而情绪的神经加工网络解答的问题则是："它对我有好处吗?""它对我有坏处吗?"这反过来影响到机体的行为应答，例如"我应该对它做什么?"或更简单的"我应该做什么?"这些神经网络使机体能够处理外部和内部产生的威胁、机会和社会关系，因此在进化过程中保存下来。

在情绪的神经加工过程中，丘脑联结在通过感觉通道发送关于刺激的物体属性的信息时，还同时向边缘系统和杏仁核发送情绪性（评价性）分析信息，而关于刺激的情绪意义的记忆则会进一步影响到情绪加工（LeDoux，1989）。在物体加工的后期，在进一步的感觉信息基础之上还可以更新情绪分析，但同时，从杏仁核返回的投射影响到之后对刺激的感觉加工。例如，如果一个人感觉到害怕，对威胁和逃跑路线的敏感性就会提高。杏仁核的输出通过丘脑影响到有组织的自主神经反应，并通过纹状体影响到运动激活，这正是情绪的动机成分的机制，有助于个体作出所需的反应。

基于脑的观点认为，情绪加工是多种信息加工。因此，注意神经网络就可以作用于情绪信息，类似于它对其他数据加工系统的作用，例如物体识别、语言、动作控制所涉及的系统，这些系统本身都有其相应的内在神经网络（Crottaz-Herbette & Mennon，2006；Posner & Petersen，1990）。脑成像研究证明，情绪加工网络和执行注意系统之间的联结（包括前扣带回）使注意能够影响到情绪信息的选择以进行有意识地加工。联结的结果是，人们可能意识得到自己的情绪评价，也可能意识不到（Bush，Luu & Posner，2000；Posner & Rothbart，1991）。但是，注意对情绪的控制可能是有限的，而且很难确定。儿童为何很难控制情绪？Panksepp（1998）列出了解剖学上的理由： 124

> 我们可能会问，到底是自上而下的认知控制更强，还是自下而上的情绪控制更强。如果我们从解剖学和神经化学的角度来看待这一问题，那么就有很多强有力的证据。自下而上的控制在数量上更多，并且从电生理学的角度来看作用更为持久；因此我们可能推测它们在紧要关头会占据优势。当然随着人类的发展，皮层功能的影响力增强，再加上社会服从的压力，因此认知力量的作用会随着成熟过程而稳定增长。我们最终无须与他

人分享就可以体验到情绪。我们可以轻而易举地戴上假面具，这使现实生活情境中对面孔的情绪分析变成一个相当棘手的难题。(p. 319)

注意系统可以影响到情绪控制的有意识层面（第3、第4章；Derryberry & Reed, 199a, 1996; Gray, 1982; Lane et al., 1998; Rothbart & Sheese, 出版中)。例如，儿童适应学校环境的一个重要方面就涉及儿童与老师和同学的社会互动是否恰当，以及他人对儿童的接纳（Parker & Asher, 1987)。关于他人情绪状态的信息对于恰当的社会行为具有重要的促进作用；若无法获得这一信息，就会成为形成功能障碍的一个重要因素（R. J. R. Blair, Jones, Clark & Smith, 1997)。当儿童的注意集中于威胁到自我的刺激物时，关于他人的信息就更难获取到，在本章后面我们将讨论学校教育在某些方面是如何威胁儿童的自我价值感的。

（二）气质的神经模型

我们现在简要地考虑一下为了描述气质的神经生理机制而发展出的神经模型，首先从趋近—正性情绪和恐惧—抑制开始。

125

1. 多巴胺，正性情绪和趋近

Panksepp（1982, 1986, 1998）回顾了关于多巴胺（DA）影响的文献，得出的结论认为“在满足欲望的行为中，多巴胺活动的一般功能有助于表达动机兴奋和事前渴望———一种高涨的对奖励的本能性搜索和期望”（Panksepp, 1998; p. 91)。Zuckerman（1984）确定了寻求感官刺激的维度（见 Rothbart, 1989a, 综述)，Cloninger（1986）也确定了一种寻求新奇感的维度，与多巴胺的功能相关。

控制趋近行为受到杏仁核、基底外侧核到伏核和大鼠脚桥核的投射控制，是运动控制的两个主要中枢。接受来自黑质和腹侧背盖区神经投射的中脑多巴胺系统也可以促进趋近行为的发展。

在功能性磁共振成像研究中，Canli 等（2001）发现，观看正性和负性图片时被试的脑活动并不相同，这取决于被试的气质。高外向性个体对正性刺激的脑反应大于负性刺激，这种激活广泛分布在两侧半球的额叶、颞叶和边缘活动。高神经质（负性情绪）的被试则对负性刺激的反应高于正性刺激，并且表现出更有限的激活（左侧的额颞）以及右额区的负激活。这个研究还证明

了外向者具有正性情绪偏向，高神经质者具有负性偏向。

有证据表明，在坚持性研究中激活的是迥然相异的一系列脑区；坚持性是人格的维度之一，与气质中的努力控制能力相关（Gusnard et al.，2003）。坚持性的效应作用于中线及内侧前额区，而不是与正负情绪相关的脑区，这意味着坚持性具有调控作用。现在正被广为接受的一个观点是（Posner & Rothbart，2000；Rothbart & Rueda，2005），努力控制（坚持性）的表征区域在额叶中线区，调节着杏仁核等脑区。这些脑区与负性情绪的反应性有着更为明确的相关。

2. 恐惧和行为抑制

杏仁核已经被确认为情绪信息加工中的关键结构之一（LeDoux，1987，1989）。有证据表明，包含杏仁核在内的情绪网络对于新异刺激的反应强于对熟悉刺激的反应（Nishi jo，Ono & Nishino，1988）。杏仁核的侧核接受条件性的恐惧信号，将之投射到中央核。中央核又将之投射到脑干区域，由这一脑区来调控恐惧活动的各成分，包括调节面孔、声音表情、心率变化、行为抑制和惊吓。

鼠类的杏仁核损伤将会破坏自主神经和皮质醇反应，并且会导致行动呆滞和恐惧的呻吟。在灵长类身上也有类似的发现（Lawrence & Calder，2004）。Calder、Lawrence 和 Young（2001），以及其他人认为，对于人类而言，虽然杏仁核不参与自主产生的恐惧面部表情，但它在获得和表达恐惧中都有作用（Anderson & Phelps，2001）。对人类面孔的恐惧表情识别也涉及杏仁核（Calder et al.，2001）。有证据表明当人类杏仁核受损，其恐惧体验会减少（Adolphs et al.，1999；Sprengelmeyer et al.，1999）。 126

来自杏仁核的投射执行了恐惧的自主神经和行为反应的成分，包括惊吓、动作抑制、面部表情以及与防御性行为相对应的心血管和呼吸变化（Davis，Hitchcock & Rosen，1987）。这些子系统的结构和功能的个体差异都可能与恐惧行为表现上的差异有关，我们可以预见即将会发现其他的情绪动机系统的多重成分，例如趋近—正性情绪和愤怒—激惹等。

杏仁核还影响到皮层内的信息加工。例如，杏仁核的底外侧核不仅投射到腹侧枕叶和颞叶通路中参与物体信息加工，还投射到参与执行注意系统的额区和扣带回区（Posner & Petersen，1990）。这些联结与有关焦虑个体的研究结果相一致，即焦虑个体对于威胁性的信息源表现出更高水平的注意（如，Derryberry & Reed，1994a）。

3. 挫折和攻击行为

Gray所建立的模型中，“战斗或逃跑”系统是由杏仁核、下丘脑腹内侧核、中脑的中央灰质区域、低位脑干的躯体运动效应核团联结而成的神经回路所组成。这些回路处理的信息包括无条件的奖惩。当检测到疼痛或挫折的信息输入，脑干效应器就会产生攻击性或防御性行为。这一系统的反应性的个体差异也被认为是艾森克问卷的一般性神经质维度中攻击性的机制。Panksepp（1982）也描述了在愤怒系统中类似的神经回路（Rothbart，Derryberry & Posner，1994）。

最近的研究区分了不同的攻击性和愤怒类别及其内在神经网络之间的重要差异。一方面，作为一种自我防御反应，攻击性似乎是产生恐惧的同一个杏仁核回路产生作用的结果（Blanchard & Takahashi，1988）。

127

另一方面，与资源保护有关的攻击性、竞争性和侵犯性则涉及多巴胺的不同系统（Lawrence & Calder，2004）。多巴胺系统不仅与侵犯性攻击行为的产生有关（Smeets & Gonzalez，2000），而且还与人类面部的愤怒表情识别有关（Lawrence，Calder，McGowan & Grasby，2002）。在Lawrence等（2002）的研究中，阻断多巴胺系统损害的是对愤怒的识别，但其他情绪识别和面孔辨认并没有受损。

（三）负性情绪

我们需要确定与负性情绪有关的神经系统，这种需求明显反应在最近的心理学模型中（Rothbart & Derryberry，2002）。婴儿气质问卷的因素分析产生了两个与困扰相关的高信度因素：其中一个是对新异刺激的困扰，另一个则是激惹，包括对受到限制或挫折的困扰（Rothbart & Mauro，1990）。最近在对婴儿行为问卷的修订中发现了一个包括恐惧和挫折的高阶负性情绪（Gartstein & Rothbart，2003）。对新异刺激的困扰即表现出趋近新物体的反应时上的延长（Rothbart，1988）、一种复合的行为抑制（Kagan，1994）以及对新异刺激的困扰倾向，这似乎与更加广泛的外倾性—内倾性维度中的内倾维度相似。负性情绪是一个一般性的维度，包含诸如恐惧、预期焦虑、悲伤、挫折—愤怒、内疚和不适等情绪。

如前所述，恐惧和挫折具有独立的神经系统。然而，在确定高阶负性情绪反应的过程中还存在几种可能性。其一是恐惧和防御性攻击这两个系统间的联

结（Blanchard & Takahashi，1988）。在动物模型中，防御性攻击似乎是基于与恐惧相同的杏仁核回路；人类对威胁到自我结构的愤怒反应也可能与恐惧有关。

负性情绪系统还受到非特异性的神经化学系统的调节，包括来自中脑的多巴胺能和5-羟色胺能的投射，而且还受到体内循环的性腺激素和皮质类固醇激素的调节（Rothbart，Derryberry & Posner，1994；Zuckerman，1995）。因此，神经化学影响可能使机体内的情绪状态保持一致，影响着更为常见的气质因素如负性情绪。例如，来自中脑中缝核的5-羟色胺投射似乎调节了与焦虑和攻击有关的边缘系统回路（Spoont，1992）。因此，低5-羟色胺活动水平可能会增加个体对恐惧和挫折的易感性，从而提高包括抑郁在内的负性情绪的一般性因素。

性腺激活与正性情绪和攻击性都有相关（Zuckerman，1991），可能会影响个体在正性和愤怒情绪状态下的个体差异。因此，神经结构不仅在具体水平上，并且在一般水平上也能说明个体差异。不管怎么说，这一领域还需要更多的研究。 128

（四）归属

关于归属的神经基础，人类与其他动物拥有相同的归属系统，包括哺乳动物、鸟类和鱼类等，用以支持配对结合和对幼仔的抚育（Insel，2003）。Panksepp（1986）指出，归属及亲社会行为可能部分依赖于高级边缘区域（例如，杏仁核、扣带回皮层）到腹内侧下丘脑的，大脑阿片会促进社会舒适感与亲密性，而阿片消退会促进激惹性和攻击性。由于腹内侧下丘脑受损会极大地增加攻击性，因此Panksepp（1986）认为，这一脑区一般也会抑制由中脑的中央灰质区域控制的攻击行为。下丘脑投射还可以通过抑制攻击倾向，来支持同一物种内成员之间的友好、信任和互助行为。以这种方式，亲社会和攻击行为背后的机制就相互联结起来，与五因素人格模型中的随和性—敌意这个两极维度相一致。在Panksepp（1993）综述的研究中关注的是，母性行为、社会接受感和社会关系以及分离所导致的抑郁降低中涉及的社会关系与下丘脑神经肽荷尔蒙（Hypothalamic europeptide oxytocin）之间的关系（男女性在性活动过程中都会释放荷尔蒙）。

（五）注意的调控功能

本书第3、第4章已经回顾了常见的注意网络的证据，讨论了这些网络的效能怎样因个体而异。作为执行注意网络的一个主要节点，前扣带回与注意的许多具体功能有关。在情绪研究中，扣带回通常被视为是包括额眶部和边缘（杏仁核）结构在内的神经网络的一个组成部分。额区似乎能与边缘系统互动（R. J. Davidson, Putnam & Larson, 2000），这一发现与其对自我调控的促进作用非常吻合。

129 正如本书第4章所论及，与努力控制相关的神经网络在2—7岁之间得到显著的发展，但努力控制在儿童期还会继续发展，直至青少年期。因此使个体基于言语信息、自我的表征和对未来的预测，发展出更为精细复杂的自我调节方式。我们现在讨论一下反应性情绪、自我调节性注意和儿童学习之间的一些关系。

在发展研究中，行为抑制或恐惧出现较早，对气质性趋近行为具有抑制作用。恐惧性抑制在1岁末已经发展得很好，如果感到恐惧的倾向很强，在新奇或挑战性情境中的正负性情绪表达和趋避可能都会受到调节。父母的报告表明，1岁时在实验室中被评估为高恐惧的儿童，在7岁时往往具有较低的冲动性、活动性和攻击性，同时较易有内疚感、羞耻感这两种强大的社会性情绪（Rothbart, Ahadi & Hershey, 1994; Rothbart, Derryberry & Hershey, 2000）。

这些关系表明，恐惧在道德发展中具有重要作用，这一假设也得到了Kochanska对于早期道德发展研究的支持（Kochanska, 1991, 1995）。Kochanska发现气质性的恐惧是早期行为准则内化的一个来源。更易恐惧的儿童表现出更多内化的道德感，尽管这一效应主要表现在学步儿童和学前期。随着儿童的成长，4—5岁间，这一直接的联系就逐渐被更为复杂的与母亲的社会化交互作用所替代。如果恐惧儿童的母亲使用温和的教养方式，可能就利用了儿童易感受焦虑状态的这一气质倾向，因此儿童会发展出高度内化的道德感。这些研究表明，有些发展道路会随着年龄而改变，而气质和社会化正是据此而影响了高级社会认知过程的发展。

恐惧在早期发展中具有很强的抑制作用，限制趋近和攻击行为，是阻止外化障碍发展的一个保护性因素，并且促进道德感的发展（Rothbart & Bates, 2006，综述）。除了Kochanska（1991, 1995）的发现，与只具有注意缺陷/多动障碍的儿童相比，同时具有注意缺陷/多动障碍和焦虑的儿童表现出更低水

平的冲动性（Pliszka，1989），有恐惧倾向的儿童在幼儿园和一年级之间就表现出攻击性减弱（Bates，Pettit & Dodge，1995）。

这些结果看起来出人意料，因为恐惧通常被视为是适应不良的情绪，至少在北美文化中是如此。但是，从进化的角度来看，恐惧抑制保护个体不受具有潜在危险性的物体或环境的伤害。它还可以使儿童遵从教育环境中的规则。然而，抑制控制的恐惧形式是由情境性或内在线索所诱发的，仍然是一个反应性的过程。在发展过程中，这一系统可以导致僵化、过分控制的行为，由此限制了儿童对世界的积极体验（Block & Block，1980；Kremen & Block，1998）。

值得庆幸的是，气质还包含了努力控制，其机制是本书第 4 章所描述的执行注意的发展，它比恐惧这一形式效率和灵活性的更高。无论恐惧行为性抑制或努力控制，都会抑制趋近行为。同时，如果气质中具有较强的趋近性，可能就需要更强的抑制机制对其加以控制（Rothbart & Derryberry，2002）。 130

（六）奖励与惩罚

我们前面提到的与追求奖励和恐惧有关的趋近—正性情绪系统的可能神经机制，恐惧与可能导致惩罚的行为抑制（伤害回避）有关。这些概念的一个重要方面表明，一些儿童更易被奖励所驱动，而另一些儿童更容易在可能受到惩罚时中止某一种活动（Rothbart，Ahadi & Hershey，1994）。当一种情境同时包含了可能的奖励和惩罚时，例如与一个陌生人交往的情境，在气质和此前经验基础之上如何平衡趋近和恐惧倾向，对于行为结果来说就至关重要了。

对于儿童的社会化和教育，上述关于奖惩敏感性的个体差异模型有直接的应用价值。我们来设想一下，当学步儿童正在做他们所喜欢的动作，如撕书，他们的行为受到趋近或外倾性系统的影响。如果父母此时给出突然的、惩罚性的命令，让儿童停止动作，那么他们的动作是否因此被抑制呢？Patterson（1980）发现，非问题儿童的父母如果采取惩罚措施，那么他们在四次情境中有三次能够有效地阻止孩子令人不悦的举动。但是，当问题儿童的父母使用惩罚措施时，儿童很可能仍然持续受到惩罚的行为（Patterson，1980；J. A. Snyder，1977）。尽管这其中也涉及教养技能的问题，但儿童的气质很可能在惩罚和奖励的效果中起了根本的作用。

二、趋近、抑制和掌握动机

131 在 Piaget（1936/1952）的观点中，婴儿对物体、因果关系和感觉运动智力的早期概念的理解，根植于他们与环境之间的互动性探索和玩耍之中。Hunt（1961）的相关研究描述了内在动机及其对智力发展的贡献。尽管这些作者强调的是探索性玩耍中的认知方面，但情绪和注意在产生、保持和中止探索中也发挥了重要的作用。对婴儿和年幼儿童探索物体的过程进行观察，揭示了各种不同的情绪，包括愉悦、恐惧、厌烦、挫折，甚至愤怒。因此，对儿童发展过程中掌握动机的相关研究试图探索情绪在物体互动和注意互动中的作用。

Morgan, Harmon 和 Mashlin-Cole（1990）将掌握动机定义为“促使个体寻求独立的、以专注而持久的方式来解决一个问题，或者掌握一项对其构成适中挑战的技能或任务的一种心理力量”（p. 319）。对于掌握动机常用的测量方式是儿童在挑战性任务上的坚持性，例如，观察和摆弄有趣的物体、解谜题、恰当地使用因果材料。向婴儿或年幼儿童呈现具有挑战性的玩具或情境，他们努力使物体“运转”起来的行为的坚持性可被视为动机行为的标志。

> Shiner（1998）将掌握动机定义为好奇和兴趣的一种倾向，在掌握环境所给出的问题中得到乐趣，并且相对于简单问题，偏好更具挑战的问题。Shiner 指出，掌握动机可被视为 Tellegen（1985）所提出的正性情绪系统中的动机成分，涉及个体以强烈兴趣或热情趋近情境或任务的倾向。从这一视角来看，成就有别于行为控制和训练（Watson & Clark, 1992）……坚持性和掌握动机可能代表了不同但相关的两个人格维度，坚持性主要涉及行为控制，而掌握动机主要涉及正性情感。（Shiner, 1998, p. 324）

Shiner 认为外向性和努力控制是气质中与成就相关的不同方面。但是，我们发现外向性对持久注意也有贡献。实际上，在学龄前儿童的努力控制发展之前，外向性可能在兴趣维持的活动中发挥了主要作用。这些发现对学校教育有明确的应用价值，可以培养儿童对任务的积极参与而非出于恐惧或强制的参与，真正的兴趣可能对儿童的学习起促进作用。

（一）正性情绪与持久参与

对5—12年级的儿童研究的元分析表明，兴趣或正性情绪的力量影响到能力和成就（Schiefele, Krapp & Winteler, 1992）。在对18个国家实施的121个研究的综述中，Schiefele等（1992）发现兴趣可以解释儿童成就变化的10%。在我们对大学生的研究中，我们也发现了自我报告的外向性与人格中的经验开放性维度是正相关的，经验开放性维度又是兴趣广泛的标志（Evans & Rothbarts, 2004）。

正性情绪与持久参与相关。Spangler（1989）把其对24个月大的学步儿童的观察与他们的心理和情绪倾向联系起来考察。无论是独处还是和母亲在一起，当儿童表现出正性情绪时，他们会较长时间地持续从事某一项活动。在我们的实验室中，Chu（Rothbart & Hwang, 2005）以及之后Hwang（1999）发现笑得较多的13个月大的儿童，在玩具上也表现出更长时间的兴趣；Chu发现，表现出较多抑郁的婴儿对一件玩具的兴趣持续的时间也较短。我们把儿童在连续两次推开或扔掉玩具之前对它的持续注意时间作为指标来测量兴趣。Hwaing（1999）发现，微笑与同时注视和摆弄玩具的持续时间相关，但与注视玩具却不加以操作的时间长度无关。

正性情绪是否与成年人的掌握动机相关？Erez和Isen（2002）诱导出被试的正性和中性情绪。正性情绪条件下的被试成绩更高，表现出更强的持久力，并且报告更高水平的动机。在后续研究中，正性情绪条件下的被试更可能有高水平的成功预期，对奖励也有更高的评价。Erez和Isen总结到，正性情绪提升了对目标及个人能够到达目标的预期。因此，对于更易体验到正性情绪的外向个体（Tellegen, 1985），他们更可能体验到较高的评价；一般而言，正性情绪可用以提高成绩。

（二）掌握动机的发展变化

即使当年幼儿童在面临挑战性任务时，我们也可以在表现中观察到他们的内在愉悦感。但是，随着年龄增长，儿童不再从任务掌握中直接获得愉悦感，而是开始关心他们的努力最后会有什么结果以及他人是否会赞同他们的表现（Harter, 1981）。情绪对于掌握动机而言仍然至关重要，但至少部分受到儿童对他人如何看待其成绩的看法的调节（Harter, 1981）。

133 外倾性与成绩之间的关系似乎会随着发展而变化。Shiner（2000）对3—6年级（8—12岁）的儿童进行了研究，并在15—19岁和17—23岁进行了追踪研究。父母报告孩子的外倾性可以预测儿童早期及之后青春期的社会能力。儿童在童年期的外倾性对其后的学业成就有正向的预测作用，但对智商控制之后，这一相关就消失了。但是，高中和大学的学业成就与早期的外倾性却呈负相关。Shiner认为，外向个体可能更具冲动性，在其后的学校教育中需要加以限制。她的研究结果表明，在外倾性和学业能力之间的关系中，除智商之外，发展变化也是重要的调节因素。

1. 恐惧与掌握动机

与恐惧系统相关的回避或行为抑制发生在新异的、恐怖的惩罚或者具有特殊进化意义的环境中，例如对蛇或黑暗的恐惧（Gray，1971）。由于气质上的个体差异不仅包括趋近或诱因动机，还包括恐惧或抑制行为，因此它们很可能影响到效能和掌握动机的发展。Susan Harter（1978）的模型强调奖励和惩罚的影响，用以解释趋近行为；而趋近的倾向（外向性）和回避（恐惧）也可能与个体的气质差异有关。

气质中的高趋近与低恐惧有关，即使在可能导致惩罚的情境下，趋近可能并不会被抑制。但是，具有很强趋近倾向的恐惧儿童在可能带来负性结果的情境下可能会抑制趋近倾向。正性情绪——趋近和恐惧的倾向往往是相互独立的，除非是在同一情境下进行测量。因此，儿童可以在安全条件下表现趋近倾向，同时在威胁之下又相对抑制。由于恐惧或焦虑会增强对威胁的注意（Derryberry & Reed，1994a，1996；Vasey，Daleiden，Williams & Brown，1995），因此恐惧可能会提高儿童对可能发生的负性事件的敏感性，因而使他们避开问题。但是，极度的恐惧可能会导致一些问题，例如过分控制的僵化行为；正如Block所描述的，过分控制的行为模式可能会限制个体的正性体验（Block & Block，1980；Kremen & Block，1998）。

134

2. 恐惧与能力

Blair（2003）发展出一套由父母报告的行为激活系统（the Behavioral Activation System，与外向性相关）和行为抑制系统（the Behavioral Inhibition System，与恐惧有关）的测量，以此来评估“发展先导教育项目”（Head Start Programs）中4岁儿童的气质。他发现与恐惧相关分数和教师报告的儿童社会能力呈正相关；恐惧相关和活动相关的分数都与较低的坚持性相关。在这例子

中，恐惧相关指标与能力和较低的坚持性都存在相关。

在 Victor，Rothbart 和 Baker（2005）对气质和人格的研究中，他们将母亲报告的 2—12 岁儿童的成就与气质联系起来考察。在母亲的报告中，恐惧、愤怒和悲伤倾向的儿童表现出较小的成就，而较为社会化和正性倾向的儿童则相反。高成就儿童也更多被描述为活跃和过分自信的、知觉敏感性更高、更具开放性以及更强的努力控制。

Elliot 和 Harackiewicz（1996）区分了成年人能力获取（趋近）和无能回避（回避）的目标取向。研究者要求被试解决一个谜题，指导语分别强调成功或失败的可能性。回避失败条件下的被试成绩较差，而且对任务的认知参与程度较低。研究者认为，以回避无能为目标的成绩目标取向可能会损害内部动机水平。

3. 挫折与攻击

Depue 和 Iacono（1989）认为，当一个目标受到阻碍时就会诱发出激惹性攻击，它有助于排除障碍。他们的观点中提出了趋近与挫折—愤怒的关系，我们也已发现在父母报告的气质中，活动水平和愤怒总是呈正相关。如果在婴儿期表现活跃，那么儿童 7 岁时在情绪上更为正性，并且具有更高的愤怒—挫折（Rothbart et al.，2001）。结合我们此前报告的关于 7 岁儿童外向性与攻击性之间的结果（Rothbart，Ahadi & Hershey，1994），这个研究结果表明，强趋近倾向可能不仅对正性情绪有作用，而且对负性情绪也有影响（Derryberry & Reed，1994b；Rothbart，Ahadi & Hershey，1994）。如果儿童在 6.5、10 和 13.5 个月时通过快速抓取新异物体表现出强趋近倾向，在 7 岁时就会表现出高水平的正性预期和冲动性，以及高水平的愤怒——挫折和攻击性，这再次显示了强的趋近倾向对于其后的正性以及负性情绪都有影响。

135

在 6 个月和 10 个月表现出高挫折的儿童在 7 岁时具有更高的愤怒—挫折，但非恐惧（Rothbart et al.，2000）。婴儿期更高的挫折也与 7 岁时更高的活动水平、正性预期、冲动性、攻击性和高强度愉悦感相关。因此，婴儿恐惧是与儿童期相对较弱的趋近行为相联系的，但婴儿期挫折与更强的趋近和此后的情绪控制不足有关。这一发现与 Panksepp（1998）的看法相一致，即不成功的奖励性活动可能会激活愤怒系统的愤怒—挫折功能。强的趋近倾向通常由正性预期所导致，当这些预期无法得到实现时就产生了挫折。

在婴儿期表现出快速趋近的儿童在 7 岁时具有较低的注意控制和抑制控制。这些结果表明，强的趋近倾向可能限制了自我控制的自主发展。如果趋近

倾向被视为行动的“加速器”，而抑制倾向是“刹车”，那么更强的加速倾向可能会弱化抑制控制的刹车作用（Rothbart & Derryberry, 2002）。

对这一发现的另一个解释是，早期对动作行为的自我调控反映了持续发展的执行注意系统。我们目前正进行纵向研究，以了解执行注意和努力控制发展的早期迹象。

4. 归属与随和性

关于儿童期随和性的研究在逐渐增长，随和性的一端是亲社会情感、行为和归属倾向，另一端则是攻击性和操纵性（Graziano, 1994; Graziano & Eisenberg, 1997; Graziano & Tobin, 2002）。正如其他具有内在两极性的气质维度一样，亲社会倾向和敌对倾向也被分开来研究（Bohart & Stipek, 2002）。Graziono 和 Eisenberg（1997）认为这两种倾向是可以分离的，即使两者之间存在负相关。例如，Shiner 和 Caspi（2003）指出反社会行为和亲社会行为的病理并不相同（Krueger, Hicks & McGue, 2001）。应该将任何亲社会的气质倾向看做是开放系统，它与个体社会经验中的亲社会行为后果存在相互作用。

在儿童早期和中期的气质与人格研究中，已经确定了外向性的两种形式；一种涉及亲社会行为，另一种则是冲动性、反社会行为和攻击性（Victor, Rothbart & Baker, 2005）。这再次说明社会化可以将趋近倾向发展为亲社会行为或反社会行为，教育环境可以鼓励和支持所有儿童的亲社会行为。

（三）努力控制

我们已经讨论过恐惧如何抑制冲动性和趋近行为。对冲动性的另一重限制作用来自努力控制的一个方面，即在注意方面对被禁止的反应进行抑制的能力。这一功能可以分为两个部分：对冲突的监控和抑制控制的执行（Botvinick, Braver, Barch, Carter & Cohen, 2001）。对冲突的监控与前扣带回的功能相关，而内侧前额叶可能与执行抑制操作的关系更紧密。在我们对7岁儿童的研究中，通过他们在11—13个月时接近玩具的较长潜伏期，以及13个月时在实验室的较低活动水平，可以预测此时的抑制控制（Rothbart et al., 2000）。在7岁时，抑制控制与注意控制和共情呈正相关，与攻击性呈负相关。抑制控制还与内疚感或羞耻感呈正相关，但与恐惧无关联。

1. 努力控制的发展

正如本书第4章所讨论，与努力控制相关的神经系统在2—4岁之间表现出快速的发展，其他研究则表明儿童期的执行注意具有某种程度的稳定性。两岁后的努力控制也具有某种程度的稳定性。Kochanska及其合作者（Kochanska, Murray & Harlan, 2000）发展出一系列基于实验室的努力控制任务，适用于22个月—5岁的儿童。从两岁开始，儿童在不同任务间的成绩具有相当高的一致性，表明这些任务测量的是同一种能力。儿童在他们的系列测验中成绩会提高，但他们的个体成绩在不同时间点上具有相当高的稳定性，对于最年幼的儿童（22—33个月）相关是0.44，46个月的儿童的相关是0.59，46—66个月的儿童相关达到0.65（Kochanska et al., 2000）。

Olson, Bates, Sandy和Schilling（2002）发现学步期儿童的亲子互动、气质和认知能力都可以预测其后的自我调控能力。Olson等使用实验室测验和观察，测量了儿童在自我调控能力上的个体差异。在两个小时的家庭访谈时间里，学步儿童自由"漫步"时间是预测以后低能力的指标。作者认为，没有明确目的而漫步的儿童可能会表现出早期组织和分配注意的困难，而这又是努力控制背后的机制（Olson et al., 2002）。

Michel及其同事（Michel, Shoda & Peake, 1988; Shoda, Mischel & Peake, 1990）的研究也证明了努力控制的结构具有稳定性。研究者测量了这些学前儿童延迟接受奖赏的能力，这些奖赏比立刻可获得的奖赏更具吸引力。延迟满足的时间可以预测青春期时父母所报告的注意、专心、能力、顽皮和智力等能力。表现出较好延迟满足的学前儿童具有更好的自我控制能力，在应对压力、挫折和诱惑上也有更强的能力。即使控制了智力这一因素，学前期延迟的时间仍可以预测其后学术水平测验考试（SAT）分数中所表现的学业成绩。在后续研究中，学前的延迟行为预测了被试在20岁时的目标设定和自我调控能力（Ayduk et al., 2000），表明4岁以后的自我调控倾向具有连续性。

137

对6—7岁儿童的问卷调查研究表明，通过测量注意专注性、抑制控制、低强度愉悦感和知觉敏感性，可以界定努力控制因素（Rothbart et al., 2001）。努力控制与外向性和负性情绪这两个气质因素都呈负相关。这些负相关支持了下述看法，即注意的技能可能有助于管理负性情绪，同时也限制冲动性的趋近倾向。努力控制与攻击性之间的负相关就是一个有趣的例证。而且，攻击性还与儿童的反应外向性和负情绪性（尤其是愤怒，Rothbart, Ahadi & Hershey, 1994）具有正相关。

努力控制可能会通过控制外向性和负性情绪的反应倾向来间接地调节攻击性。例如，高努力控制的儿童可以将注意从攻击的奖赏作用上转移开来，或者移除对愤怒有关的负性线索的注意。Eisenberg 及其同事发现，4—6 岁的注意控制能力很高的男孩往往使用非敌对的言语方法来应对愤怒，而非外显的攻击方法（Eisenberg, Fabes, Nyman, Bernzweig & Pinulas, 1994）。

我们还可以用要求儿童对其行为进行抑制控制的系列任务来检验冲突解决的实验室测量法之间的关系（图 4.3）（Gerardi-Caulton, 2000）。这些方法包括了延迟满足的标准任务，例如等待接受奖赏。我们发现这些标准测量与我们实验任务之间存在显著相关。更重要的是，实验室任务的要素与努力控制的不同方面具有显著的正相关，与父母对儿童平常行为的报告的负性情绪负相关。看来，冲突解决的认知测量和来自父母报告的婴儿自我控制的各个方面之间确实存在相关。

138

2. 建立心理理论

有研究（Carlson & Moses, 2001）使用了空间冲突任务（图 4.3）、延迟任务以及父母对努力控制的报告，也显示出了这些相关。他们还发现控制与儿童在心理理论任务上的表现存在相关。大量证据表明，儿童在 3—4 岁之间对他人的信念、意图和行为的理解能力在发展，亦即关于人类心理活动的理论。在这个研究中，研究者给 3—4 岁的儿童讲述故事，故事里的两个木偶在一起拍球，之后其中一个木偶把球放在两个箱子中的一个，并离开了房间。在他离开之后，另一个木偶把球从第一个箱子移到另一个看起来差别很大的箱子里。当 3 岁儿童被问到离开的小木偶会认为球在哪里，他们通常会报告说，离开的小木偶知道球被放在第二个小木偶在他离开之后放置球的地方。这被用以证明年幼儿童无法意识到他人的真实想法。到 4 岁大的时候，犯这类错误的儿童就少很多。

儿童认识到离开的木偶不知道球实际上是放在哪里的这种能力与努力控制的能力呈正相关，这种能力可以通过空间 Stroop 冲突任务上的成绩来测量。我们认为空间 Stroop 冲突和心理理论任务都需要对优势反应（即回答球所放的实际位置）进行控制，以便能够作出非优势的反应（识别出欺骗）。我们知道当成人面临冲突任务时，或类似于心理理论任务中所用的故事时，在与执行注意相关的额叶中线区域会有很强的激活（Frith & Frith, 2001）。

3. 共情、道德法则和社会能力的学习

高努力控制的儿童对他人还表现出更高的共情能力。Eisenberg 和 Okun（1996）在对医院里志愿参加实验的老年人所进行的研究发现，注意控制与共情和观点采择正相关，而与个人抑郁呈负相关；同时，负性情绪强度与共情和个人抑郁都呈正相关。努力控制使个体能够注意到他人的思维和情绪，而不是完全沉浸在他们自己的抑郁中，从而使个体具有同情心。同样，6—7 岁儿童的负疚感或羞愧感与努力控制和负性情绪都是正相关（Rothbart，Ahadi & Hershey，1994）。负性情绪使个体体验到很强的与不适感相应的内部线索，从而增加了将这些感觉归因于内因而非外因的可能性，因而使个体感到内疚（Dienstbier，1984）。努力控制使个体具备灵活性，将这些负性感觉与个体自身的特定行为联系起来，或者与对他人的不良后果联系起来，从而使个体体验到更深的内疚感（Derryberry & Reed，1994b，1996）。

139

Kochanska，Murray，Jacques，Koenig 和 Vandegeest（1996）的研究表明，道德感的发展与个体在努力控制上的气质差异有关。高恐惧的学龄前儿童在道德原则的内化上更容易，尤其是当他们的母亲采用温和的教养方式时（Kochanska，1995）。但除此之外，较高的努力控制也有利于儿童的控制内化（Kochanska et a.，1996）。由此看来，两个分离的控制系统调节着道德的发展，一个具有反应性（恐惧），另一个具有自我调控性（努力控制）。恐惧可能提供了与道德原则有关的反应性抑制和负性情绪，而努力控制则提供了将负性情绪、行为后果和道德原则联系起来所需要的注意灵活性。

这些研究表明，总体气质，尤其是努力控制，对儿童的情绪、认知和社会发展而言非常重要。我们并不低估环境的影响力，但内在气质系统可能在人格的自组织中占据中心地位。如果从注意的功能来看，这一作用尤其明显。注意的功能是选择并调节最为重要的信息，促进这一信息在记忆中的存储，并提供重要的调控作用。儿童的行为除了受到直接环境的影响外，本身的思维能力也很高，可以利用注意来重现他们的正性和负性体验。在不同的发展阶段，我们可以预期这些情绪性和注意性过程会逐渐地将某些与自我或他人相关的信息形式稳定下来，因而可以影响儿童脑中对自我和世界的表征，提供进一步调控他们行为的途径（Derryberry & Reed，1994b，1996；Rothbart，Ahadi & Hershey，1994）。

4. 努力控制和教育

人类主要受情绪或兴奋的驱动，努力控制则可以使人们抵制情绪的即时影响。Bramlett, Scott 和 Rowell（2000）研究了一年级儿童的气质、社会技能、学业能力和阅读数学成绩之间的关系。儿童的气质，尤其是持久力，可以预测学业能力；而教师对儿童行为的评定比父母的评定更能预测儿童的课堂行为和学业状况。

140

内化通过自我调控来抑制或改变行为冲动的方向，Ryan，Connell 和 Grolnick（1992）发展出一套理论，将社会常模的内化与自我调控联系起来。内化对学校适应和社会成就而言很重要，因为这些领域可能涉及本身不直接具备动机性的场景。在自我调控的内化发展过程中，教师和父母扮演着重要的角色，包括支持儿童的自主性、提供支架以及促进积极参与。

Eisenberg 等（1996）调查了幼儿园至三年级的儿童，测量了负情绪，并对注意或努力控制进行了复合测量。Eisenberg 等（1997）还测量了他们的社会行为能力（社会适宜性和亲社会性）。在情绪强度的所有水平上，比起自我努力调控水平较低的儿童，自我努力调控水平高的儿童表现出更高的社会能力水平。但是，这种关系只对那些总体情绪强度较高的儿童才是最强的。除此之外，注意控制与灵活性相关，这对于容易体验负性情绪的儿童而言尤为重要。

尽管努力控制系统能够内化的是与能力相关的目标及成就，但若要了解儿童的适应过程，我们还需要追踪愤怒、悲伤和过度刺激与趋近、恐惧和努力控制之间发展平衡的关系（Rothbart & Sheese，待出版）。这一研究将会用到更多的气质测量。我们还意识到，在短期内有利于儿童的一些适应性在之后的发展阶段中可能并不具有适应性。纵向研究将极大地推动这个领域的发展；对于干预研究的一个重要补充是，可采用气质测量的方法将被试分配到不同的控制条件之下。

三、气质与学校环境

我们现在介绍并重述在学校环境下具有特殊应用价值的有关气质的研究结果。美国的教师非常清楚模范学生所应该具有的品质（Keogh，1989），包括气质特质，如高注意广度、趋近性、低活动性和低的负性反应。在预测教师有关学生能力的信念中，教师所感知到的这些属性比高智商分数或没有学业缺陷的

贡献更大（Keogh，1982）。儿童气质还与教师的行为有关系。Martin（1989）在研究中发现，易分心、低注意（低努力控制）的儿童受到教师更多的批评。Pullis（1985）发现当教师认为儿童有能力但却不进行自我控制时，他们更可能以处罚或强迫的方法来管教学生。

（一）学校学科学习的动机

气质系统与儿童对学校科目学习的动机之间是什么关系呢？我们之前讨论的内在兴趣和面对挑战的正性趋近对于学校环境很重要，而且内部兴趣后来可能会被社会或物质奖赏的外部兴趣所补充或取代。我们在本书第1章中已指出，B. F. Skinner（1968）强调工具性学习过程中奖赏具有重要性。Skinner基于动物实验的结果认为，惩罚并不有效，但是后来研究者注意到他是基于对实验室动物施加强电击的效果之上得出这一结论的，而电击有可能破坏了所有已发生的学习成果。事实上，轻微的社会惩罚确实能够抑制儿童的行为。在学校环境中，成绩和来自教师的表扬或批评可作为外在的奖惩。

尽管恐惧可能会抑制儿童对新异任务的反应，恐惧同样也有助于抑制儿童在校的过度活跃性或攻击性，鼓励儿童遵守规则，并促进早期道德感的形成（Rothbart & Bates，2006）。负性情绪还与检测错误以便纠正错误的能力有关（Luu，Collins & Tucker，2000）。但是，恐惧或焦虑可能会增加个体对威胁的察觉，从而形成注意偏向，使得注意难以从负性信息上转移开来（Reed & Derryberry，1995）。

（二）自我的发展与人格

为了解趋近和恐惧系统在儿童对学校的反应中是否起作用，我们不仅要考虑气质，还必须考虑自我发展与人格的各个方面。人格包括儿童和成年人如何看待他们自己和周围世界，并且随着自我感的发展，儿童开始评估自我内容，评定自我价值。图6.1描述了儿童的气质何以塑造他们学校经验的机制（Teglasi & Epstein，1998，p. 536），但重要的是记住，这些过程适用于所有的儿童。同样需要记住的是，在某一情境下有用并能获得奖赏的应对策略，在另一个情境或之后的发展中可能是无效的甚至有害的。

随着儿童强烈的自我感的发展，他们对正性或负性自我价值的感觉也更多

地受到奖惩的影响（Harter，1999）。早在学前期，儿童就发展出善恶概念；而在小于两岁的儿童身上就已经能够观察到羞耻感、尴尬感和自豪感。

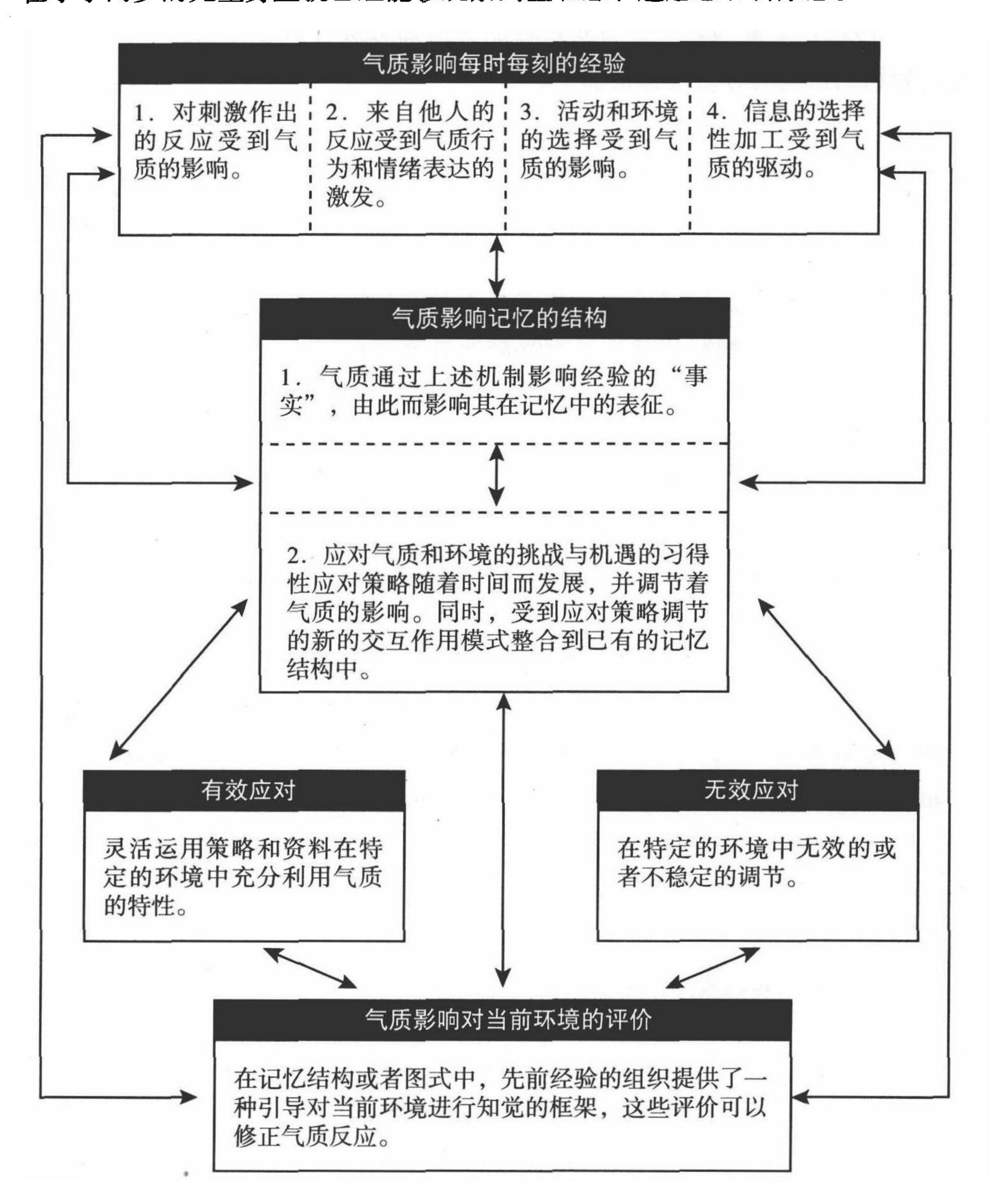


图 6.1　学校情境中气质影响主观经验的机制模型。引自“Temperament and Personality Theory：The Perspective of Cognitive–Experiential Self–Theory” by H. Feglasi and S. Epstein，1998，School Psychology Review，27. P. 536. Copyright 1998 by the National Association of school Psychologiets. 经允许重印。

随着发展，自我概念分化，儿童开始区分他们的社会、运动和学业自我（Harter，1978）。普遍的羞耻感也可能变得更具体，导致内疚反应（Dweck，2000）。近年来，研究者不仅发现惩罚的负面效果，还发现了奖赏的许多负面作用。尽管气质上的差异可能使一些儿童对于奖励或惩罚比其他人更为敏感，但这些系统存在于所有儿童身上。因此，若要了解儿童在学习情境中的发展和活动，动机研究就非常重要性。Carol Dweck（2000）是这样来评价自我相关信息的重要性的： 143

> 在我们的所有研究中，使我一再感到吃惊的是受到调节的人（包括儿童和成年人）如何对待与自我有关的信息。我觉得有趣的是，我们的实验是如何在一次训练中就可以使人们获得对自我的“新”认识，并影响到他们的动机和行为（Jones，1990）。尽管短期经验的影响可能相当短暂而具有局限性，但这些研究展现出人们对此类信息的高度敏感性（p. 143）。

（三）失败的恐惧与自卑感

我们也知道学校教育可能会长期地、重复地施予某些信息，影响到儿童对自我价值的感知。例如，竞争性的学校教育使竞争失败的儿童感到自己是有缺陷的。即使经常能够获得成功的儿童通常也害怕失败，当他们的弱点暴露出来时也可能失去对自我的正性看法。因此，成功通常并不足以保障个体拥有安全的自我概念，在一些高成就的学生身上也可以观察到对失败的恐惧（Dweck，2000）。即使学生已经有了很多的成就，他们可能害怕自己的不完美在下一个测验或其他评价方法中被“揭露”。当学校教育最主要的动机变成恐惧时，要诱导出学生的内在兴趣或对学科的专注就变得困难起来。在实验研究中，如果任务是复杂且有意义的，引入竞争将会损害而非提升学生的成绩（Covington，1998）。

因此，这样就会鼓励儿童去寻找失败的理由，包括假装学习，设置永远到达不了的高目标，选择容易的任务以确保成功，设置成功的低标准，作弊，将过错归结到老师或测验上，不重视学业成功（有时在少数学生身上可观察到），甚至归咎于自身的焦虑（Covington，1992）。

C. R. Snyder 和 Higgins（1988）回顾了用以自我保护借口的广泛应用。此外，恐惧泛化可使儿童不重视合作的重要性，他们可能害怕自己为一个群体付 144

出很多，但却得不到相应的回报。

气质中的恐惧可能也会加强对评价的焦虑。例如，Harter（1980）报告了当处于他人的观察和评价之下时，恐惧儿童对挑战性任务的兴趣降低，表现出行为退缩。把气质考虑在内，开展逃避类型的纵向发展研究对于理解情绪和教育非常重要。

在美国，人们往往对以下这些特性给予正性评价，包括自主努力取得的成就、性情坦率、公众自我与个人自我的一致性（Harter，1998）。虽然这些价值观很可能在发生变化，但传统上它们是与性别相联系的，例如个人成功对于男孩更为重要，而社会赞同和身体吸引力对于女孩更为重要。随着儿童对自我表征的发展，他们在被评价领域内的易感性和失败恐惧也随之增强（Harter，1998）。

在人格理论中，焦虑是与家庭早期经历相关的。有些儿童的自我价值感主要取决于他们的个体表现；比起那些得到父母无条件接受的儿童，他们对于失败可能性的焦虑更高（Assor，Roth & Deci，2004；Ausubel，1996）。自卑感也可能导致儿童采取傲慢、嫌恶或退缩的防御性姿态（Adler，1946）。恐惧的气质倾向会促进焦虑反应，但是当取胜的压力很大时，即使气质上更正面的、趋近性强的儿童也会产生对可能失败的焦虑。之后，由成绩威胁而产生的自卑感可能以与自卑相反的形式表现出来，例如傲慢。除此之外，与低自我价值感相关，儿童还易表现出受挫折、逃避和抑郁的倾向（Harter，1998）。在这些过程的发展中，气质很可能只是部分原因，我们需要对自我相关的这些人格过程进行纵向的追踪研究。

145

（四）提高动机的学习目标

竞争和评价的氛围会忽视犯错误的有益价值，儿童会尽可能地避免任何失败的迹象。儿童为了他人的评价而努力学习，但即使如此，有些儿童注定表现得较差。那么他们怎么应对这些会使他们低估自我的信息呢？对于更大的儿童来说，一种可能的做法是使用自我区分，至少使自己在一个领域内保持正性的自我观，而忽视其他领域内的自我表现，例如“我的成绩不太好，但是我的棒球技术很棒”。但是，如果一个孩子因此而抹杀掉整个领域的经验，那就令人沮丧了。

研究者在更大的儿童身上确定出两种学业成就目标，其中之一包括内在的掌握动机和任务参与，另一个包括外在动机、成绩评价和自我参与。Pintrich，Marx 和 Boyele（1993）在回顾这两种取向与儿童的认知参与之间的关系时发

现，比起专注于自我（自我参与）或成绩（得到更好的成绩，胜过别人）的儿童，专注于掌握动机的儿童将会导向更深的认知加工。成绩和自我目标会导致较表层的加工和不全面的认知参与。掌握动机也受到学校结构的影响：当儿童被导向的目标更有意义、更具挑战性，当儿童自己对于他们努力的方向有所控制，当外界评价并不高度关注外部奖励、竞争或社会比较时，那么他们更会以掌握为取向。

在学校中，如果改变儿童对智商的看法，可以使学习更具有内在奖励性，并减少惩罚性（Dweck，2000）。一些儿童把智商视为一种不可改变的特质：不论一个人是聪明还是笨，总没有办法来改变。此外，如果你必须努力学习才能获得成功，这就说明你并不十分聪明。另一种途径类似于我们在本书第9章提到的技能学习方法的观点：智商是逐渐提升的；一个人可以变得聪明起来。采用这一观点，儿童就会知道，只要通过努力和练习，他们的智商是会得到提高的（Dweck，2000）。我们在第9章描述了这种可能性。有趣的是，按照智商测验被创建起来的方式（第1章），儿童确实会随着年龄增长而变得聪明。只是当与其他同龄儿童相比时，一些人得到较高的智商分数，一些人的分数则较低。

在学校教育中使用奖励会导致其他问题。例如，一旦儿童因为某一任务上的表现而受到奖赏，他们可能需要在有奖励的前提下才会去完成这一任务，而降低了之前对这一任务的内在兴趣（Lepper，Greene & Nisbett，1973）。如果任务是有奖赏的，儿童也可能去选择容易的任务（Harter，1974），遵循以最小的努力获得最大奖赏的普遍方法（Kruglanski，1978）。Covington（1998）提出，如果要解决这些问题，可以将学业成就视为达到基本目标（例如掌握任务、帮助他人或满足好奇心等）时所得到的副产品，而不是将其视为可以获得奖励的、个人成就的标志：

146

> 学习的愿望是否持续是学习的价值和意义的最终之所在—更具体地说，是从深刻理解中获得的满足感——而非为了权力或威望而增长知识。（Covington，1998，pp. 136–137）

知识可用于提出和解决问题，通过强调这种知识，儿童将转变视角，将成败视为对问题解决有所帮助的信息，而非个人价值的标志。

四、小结

气质作为分析和理解的一个层面，可以为儿童教育提供新的视角。脑系统的研究近年来备受关注，这些个体差异为动机和学习经验提供了构建材料。外向性与掌握动机呈正相关；恐惧和悲伤与掌握动机呈负相关。更具知觉敏感性和经验开放性的儿童也更具竞争力。个体的气质差异中最为重要的维度之一是努力控制，它以执行注意的发展为基础，同时与气质所支撑和塑造的动机系统也有关联。动机随着发展而改变，儿童通常都会产生自我焦虑，早期对学习和挑战的浓厚兴趣也可能因此而丧失。对于父母和教师而言，在鼓励技能发展的同时，还要注意激发儿童适当的动机，考虑他们的气质特征，这些都是激动人心的挑战。

第七章

读写能力

在和学习有关的研究中，阅读学习和脑成像研究的关系最为密切。阅读是一项非常复杂的认知任务，阅读过程中最重要的就是对组成词的单元进行解码的能力。其中，解码能力所涉及的认知加工是最为核心的。脑中有专门的脑区负责对字母进行组块加工，对单词进行命名，并解读出它们的含义。迄今为止的许多神经影像研究都在分析成人阅读单个单词的过程。在本书第 2 章中讨论的神经影像的方法已经介绍了人在阅读活动中脑活动的区域。对熟练阅读者进行的脑成像研究显示了流利阅读的状态。 147

读写教育的重要目标就是要使孩子逐渐掌握这种流利阅读的技能。但是，对成人的研究结果还无法直接推断出如何才能获得这种技能。有研究者对两组不同阅读能力的孩子进行比较，一组儿童的阅读能力处于中等水平，另一组儿童在阅读时有较多的困难（S. E. Shaywitz, 2003），研究结果发现阅读困难组的儿童在完成阅读任务时其前额叶脑区激活程度更高。这一结果表明，相对于保证阅读流畅的正常阅读者的某些已经自动化的脑区功能，阅读困难者往往需要更多的努力控制来实现这一功能。

儿童出现这样的反应究竟是因为他们还无法阅读得足够好，还是因为这部分脑区之前已经存在的问题使得他们无法获得正常的技能，目前我们还不得而知。为了帮助大家理解儿童的脑是如何学会阅读的，我们必须先了解成人是如何进行阅读加工的。在这一章中，我们将介绍成人在阅读单个单词时其视觉、语音和语义加工的过程，以及这些心理加工过程所对应的特定脑区。这些知识可以让我们能够更深入地认识读写的习得过程。有意思的是，科学研究发现，语音的习得最早开始于婴儿对母语的语音单元进行分辨。而和流利阅读有密切 148

关系的对字母进行自动组块的功能则开始于阅读发展的晚期。

一、阅读的研究方法

在本章中我们讨论的大多数关于阅读的脑成像研究都是基于个体对视觉单词加工的结果。在很大程度上，单词阅读决定了阅读任务的完成以及各种阅读技能的运用。在阅读过程中，目光停留的时间非常短，会很快地从一个地方扫视到另一个地方。阅读的眼动研究发现了阅读单个单词和阅读连续文本之间的关系。在目光短暂停留的时刻，熟练的阅读者能够有效地看到小部分的文本文字，主要是当前目光聚焦的单词，也会预览这个单词后面的一到两个单词（Rayner & Pollatsek, 1989）。在这个大约40毫秒的时间里，读者不会看到多余的内容，能有效地忽略其他的信息。

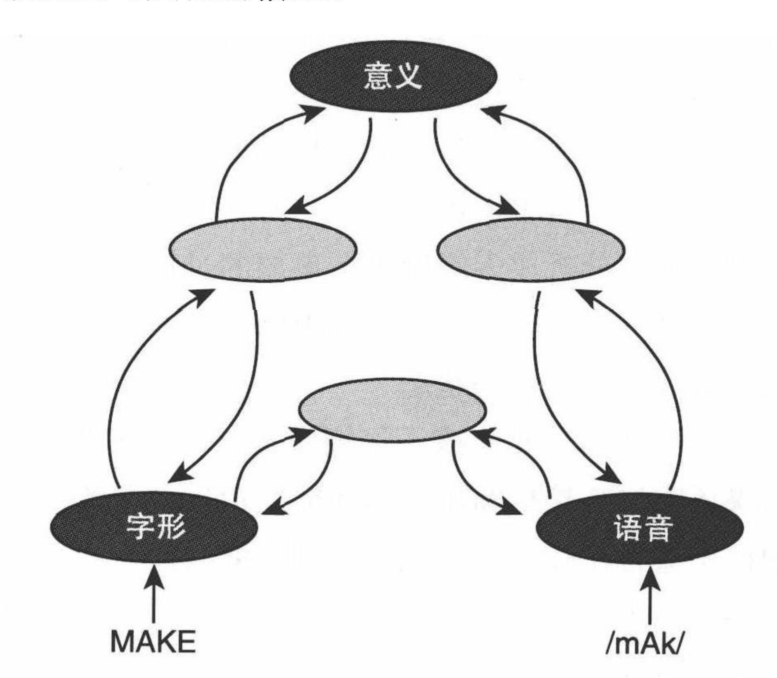


图7.1　阅读过程的加工模型。根据这个单词阅读模型，与字形、语音、语义有关的三个加工过程决定了流畅阅读。摘自“A Distributed, Developmental Model of Word Recognition and Naming” by M. S. Seidenberg and J. L. McClelland, 1989, Psychological Review, 96, p. 526. Copyright 1989 by the American Psychological Association.

脑成像研究发现，在进行单个词加工时，某些脑区和词的再认过程有关。这些过程包括对单词的视觉特征（字形）、单词的声音（语音）、单词的意义（语义）等的分析。我们将先介绍这些研究，随后我们将介绍在人们盯住某个单词的短暂瞬间（一个流畅的阅读者大约需要275毫秒），我们脑的不同区域是如何来组织这些加工模块的。这类研究运用脑电技术记录人的头皮活动，以

此来估计每个加工过程所用的时间。通过记录不同脑区的脑电活动，我们可以了解，在信息传递时不同脑区之间的关联情况。在有些研究中，通过扩散张量成像技术（第 2 章）可以帮助研究者清晰地观察到脑中不同区域间传递信息的纤维束的影像。一旦我们知道脑何时被激活，我们就可以判断脑激活的时间进程与阅读过程中眼动的反应是否一致。如果一个熟练阅读者凝视一个单词的时间是既定的，并且阅读中读到的单词的意思会影响目光的移动，那么脑的语义加工区在凝视之前就应该被激活。这一分析隐含了一个前提假设，即脑加工的速度要和真实阅读情境中所观察到的行为相一致。在本章结束时，我们将回到单词阅读的研究，分别介绍成人和儿童的阅读技能的获得。

（一）认知加工

单词阅读过程中到底包含了哪些认知加工呢？（Everatt，1999；Klein & McMullen，1999）根据大多数研究者的观点，这其中包括将单个字母组合成符合正字法规则的单元（视觉的单词构成）的视觉加工。人们将看到的单词成分转换为内部声音（语音输入）或者是外部发音（语音输出）。也有可能人们直接将看到的单词转换为其对应的语义，就好像大家看到一把椅子，即使不知道叫什么名字就知道是用来坐的。这些加工过程之间交互作用的关系在图 7.1 中列出。除了这些阅读所特有的加工过程外，本书第 3 章、第 4 章中讨论的注意的神经网络也会根据阅读者的意图对这些加工过程进行调整。

1. 视觉加工

单词的词形加工开始于大脑皮层的初级视觉皮层。但是，脑成像研究发现，被试看单词和看视觉复杂程度相同的非词符号时，两种任务条件下的差异通常发生在左侧的视觉区域（这一区域的加工发生在初级视觉皮层之后）。

图 7.2 总结了左半球和单词加工有关的脑区。在左侧角回（angular gyrus）的视觉相关皮层区域（图中用六角形标注），被英文中的字母串（例如 WORD）激活的程度显著高于没有意义的单词（例如 WRDN），即便这些无意义单词也是由真实的字母组成的。这种激活的特征表明这个脑区对单词在英文范围内的词形组合形式非常敏感。因此，这个区域被称为“视觉词形区”

(visual word form area)。无论呈现正确的英文单词还是不符合正字法规则的无意义字母串时，这个区域都会被激活。

150

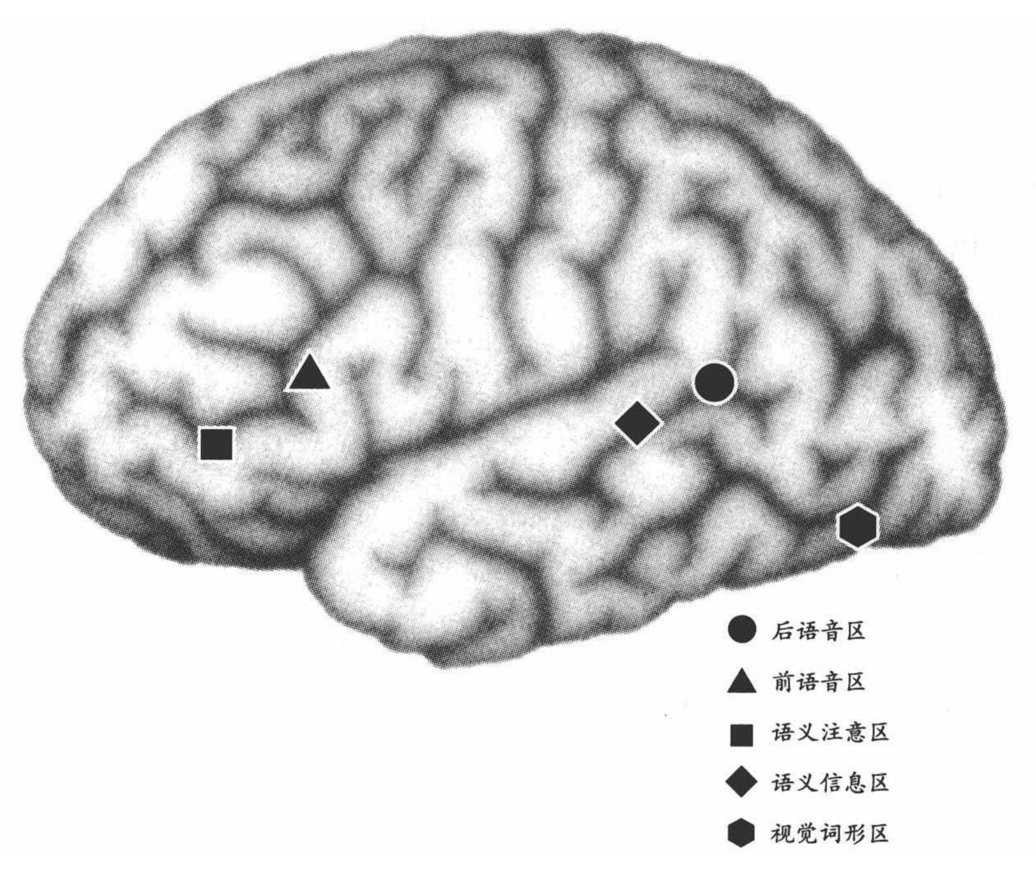


图7.2 大脑皮层中与流畅阅读的习得相关的重要区域。脑成像研究发现，在阅读过程中，大脑左半球的后部区域［视觉词形区（六边形部分）和语音区（圆形部分）］和前部区域（方块图例）在阅读过程中有重要的作用。

151 对词形区域这一概念目前仍存有争议（McCandliss, Cohen & Dehaene, 2003；Price, Winterburn, Giraud, Moore & Noppeney, 2003）。我们认为，造成这种争议的原因有很多。首先，很可能不是一个单独的脑区，而是对字母串的不同属性非常敏感的一系列临近的脑区。这种属性可以包括字母串的长度，以及字母串按照正字法规则进行正确组合的特征。其次，“词形区”可能并不仅仅参与了单词加工。在不同元素组合成一个整体这样的认知加工过程中，这个区域也可能被激活。例如，当给被试呈现的图片不是以整体的形式出现的时候，梭状回面孔区（the fusiform area，这个区域通常在看到面孔时被激活）会参与将不同的部分整合成一个整体，但同时当专家看到熟悉领域的视觉物体时，例如研究狗的专家看到一只狗，汽车专家看到一辆车（Posner, 2004），梭状回面孔区也会被激活。这些研究说明，表征某些加工功能的脑区通常会优先加工特定类型的刺激，但包含相同认知操作的刺激也会引起相似的激活。再

次，当人们学习不同类型的语言或运用不同的策略时，往往激活的脑区也不同。阅读英语时通常会激活左半球枕叶腹侧，而阅读意大利语时激活左半球外侧颞叶，这个区域离听觉词汇加工区很近（Paulesu et. al.，2001）。意大利语是一种更规则的语言，在进行词形加工时需要的信息较少。而在英文中，词形相近的词读音可能相差很远，例如单词“have”和“wave”，单词“pint”和“lint”。

这三种理论观点对阅读的学习有重要的启示作用。它们表明对学习阅读技能的初学者而言，注意的指向性非常重要。熟练的阅读者已经形成了一个脑的神经网络，视觉系统能够根据以往的学习经验来组织各种输入的刺激。这种阅读神经网络非常强大，熟练的阅读者损伤了右侧顶叶后，会忽略左侧无意义字母串，但能够正确地读出单词（Sieroff & Posner，1988）。而左侧颞枕区（词形区域位于此）受伤的病人虽然能够将字母逐个读出来（Cohen et al，2003），但无法读出完整的单词。

在这方面有一项非常有名的研究。当研究者在右侧视野给病人呈现单词时（右侧视野的刺激由左半球加工），他能够读出单词（Cohen et al.，2003）。但当单词呈现在左侧视野时，他只能按字母逐个读出。医学检查发现这个病人的右侧视觉区域和左侧梭状回视觉词形区之间的联接被切断了。因此他无法将字母组成一个完整的单词。在后面，我们将进一步分析视觉词形区的发展对阅读技能获得的影响。 152

2. 语音加工

许多研究已经发现，儿童的音素加工能力是阅读学习最好的预测指标，它也是口语的基本组成部分（Stanovich，Cunningham & Cramer，1984）。研究者们发现儿童从出生开始就具备了音素辨别的能力。新生儿还可以辨别不熟悉的语言中的音素（P. K. Kuhl，2000）。然而，在6—10个月大时，婴儿逐渐对母语（也就是他们每天能正常接触到的语言）的音素辨别能力大幅提高（P. K. Kuhl，2000；P. K. Kuhl，Tso & Liu，2003；Werker & Yeung，2005）。此时，婴儿无法再区分母语中同一音素范围内的不同声音。我们已经逐步了解到音素如何影响到后来的词形发展（Werker & Yeung，2005）。这个重要的学习开始于婴儿时期，甚至比婴儿开始牙牙学语还要早。虽然语言环境很重要，遗传因素对于语音的发展也有显著的影响（Newbury，Bishop & Monaco，2005）。

此外，我们在记录被试头皮的事件相关电位（ERPs）的条件下，先高频

率呈现某一个音素，然后替换为一个低频呈现的音素（Cheour et al.，1997；Guttorm et al.，2005；Molfese，2000）。当脑觉察到新异的音素刺激出现时，脑电就会出现不同的反应。通过记录脑活动的情况，我们就可以知道婴儿是否能分辨不同的音素。这种电活动记录方法可以用于测量脑的分辨能力。通过这样的方式，我们就能测查到儿童学习的母语或者其他语言（例如，父母希望儿童学习的其他语言）的音素结构是否已经形成。同时，我们还可以通过这些测查到的数据预测儿童今后口语和阅读方面的发展是否存在障碍（Guttorm et al.，2005；Molfese，2000）。通过对婴儿脑电记录的最新研究方法，即合并六个电极点所收集的数据，发现这些数据可以有效预测读写能力方面的发展障碍（Kook，Gupta，Molfese & Fadem，2005）。所有这些研究都通过对婴儿的脑电活动信号的探测，使研究者能够确定婴儿早期音素结构的形成过程。正如目前已经可以用脑干事件相关电位（brain stem ERPs）检查婴儿的听觉障碍了。

153

在阅读中，存在两种语音编码的方式（图 7.2）。一种称为输入语音或听觉语音，将视觉呈现的单词转化为听觉形式，这相当于看出单词的读音。这一加工过程发生在图 7.2 中用圆形标注的后部区域。另一种语音编码方式和单词发音有关，发生在左半球的额部区域（图 7.2 中的三角形）。

脑成像研究证实了这两种编码方式的存在。当要求被试判断视觉呈现的两个单词是否押韵时，位于角回前侧的左侧颞上回（图 7.2 中的圆圈）被激活（Petersen，Fox，Posner，Mintun & Raichle，1989）。当通过听觉形式呈现单词时，临近的一个脑区被激活。而这个脑区在完成视觉单词命名或语义分析任务时都没有被激活。这些研究结果证明，对视觉单词进行语音编码不是单词阅读中不可缺少的加工过程，至少对于英文中常见的单词，可以通过直接从词形到语义的联接通路完成对熟悉单词的识别。

许多研究者发现，左侧额部参与了匹配押韵单词的任务，尤其是给无意义材料匹配押韵单词。为无意义单词匹配押韵的单词时，首先需要读出字母串。这就难怪和运动输出有关的额叶皮层也参与了这个加工过程。

通过押韵这类的特殊任务可以激活与语音相关的脑区，这些研究表明，在阅读简单的单词时，脑并不必然选择语音通路通达词义，许多单词在阅读过程中可以通过单词的词形直接通达词义（图 7.1）。不过，近年来这一观点遭到质疑。最新的研究观点认为，即使对于熟练的阅读者，个体的语音加工也会被自动激活。在图 7.1 中，示意图显示语音和词形在加工视觉词汇时有相互作用。在形音对应很规则的语言中（例如意大利语），语音加工的作用会尤其明

显。而在英语中，很多特殊单词的认读需要经过阅读学习，例如 pint。图 7.1 中诠释了这一理论观点，即词形和语音处于同等的位置，这表明在阅读单词时，很难说语音加工和词形加工哪一方面更重要。这也导致了“强调语音作用”和“强调词形作用”两种不同观点之间的争论。在本章后面的部分我们还会讨论到，不管阅读者需要提高哪方面的技巧，语音在获得阅读技巧方面都是非常重要的。

154

3. 语义分析

研究者发现，相对于简单的单词读出任务，当要求被试读出某个视觉呈现的名词的用途（例如，“锤子”的用途为“敲”）时，某些脑区会被激活。图 7.2 中已经标示出两个参与单词语义加工的脑区（图中的方形和菱形）。许多研究中，在不同的任务条件下，都发现这两个脑区参与了语义的加工。

这两个区域对大多数人来说都是呈左侧化的。第一个区域在左侧额下回，在布洛卡区前部（图 7.2 中的方块）。这个区域被认为在所有视觉或听觉任务中都参与了复杂的语义加工。因此这个区域的激活并不与某种特定的任务有关，但由于它常常与前扣带回同时被激活，所以可能与在进行语义加工时执行注意控制有关。

另一个左侧化区域位于颞叶和顶叶交界处的后部区域，和威尔尼克区相关（图 7.2 中的菱形）。威尔尼克区损伤后将导致流利性失语症，即患者无法理解和说出有意义的句子。认知研究已经发现了这种损伤造成病人在加工单词方面的局限性。不过，虽然他们的言语在语义一致性方面存在缺陷，但如果在目标词呈现之前先出现一个相关单词，这些患有威尔尼克失语症的病人会出现语义启动效应。这表明即使他们不能正常地进行句子层面的语义加工，至少在某些情况下，威尔尼克失语症病人能自动加工单词的词义（Milberg, Blumstein, Katz, Gershberg & Brown, 1995）。如果语义信息主要由威尔尼克区负责加工，那么左半球额区的作用又是什么呢？目前已有明确的研究证据显示，人们在分析单词的意思时，左半球额区的腹外侧被激活（Petersen et al., 1989），但这个区域的具体功能目前还不清楚。

有一种观点认为，额部皮层的主要作用是使读者的注意力集中于作出正确的反应，而不是存储语义信息。根据这种观点，存储语义信息的是颞叶后部，额部或许可以暂时存储正在加工的特定单词的相关信息，从而寻找正确的答案。支持这种观点的证据表明，额叶在问题解决任务中会被激活（Duncan et

al.，2000)。那么在这类任务中包含了哪些心理操作呢？很有可能输入的文字信息暂时存储在额区，而后部区域则参与搜索正确的答案。

155 另一个在语义任务中被激活的部位是在额部中线位置（左和右）的前扣带回。在第4章中我们已经讨论过（图4.2)，前扣带回通常和认知任务中执行注意功能有关，尤其是当认知任务中包含抑制时。例如，当我们给被试呈现一个名词，让他只说出该名词的用途，他需要避免把单词本身说出来，而只给出对应的用途。一般认为，由于需要抑制对单词进行命名的自动加工，因此激活了执行注意的脑区。正如前面我们曾提到过的，在加工单个的单词时，扣带回通常和前额叶外侧区（图7.2中的方块）协同作用。

尽管仍然有很多争论和不确定的问题，解剖学研究已经证实了阅读模型（如图7.1中列出的是其中一种模型）中的各种成分可以被定位于脑的不同皮层区域。值得注意的是，视觉系统的某些部分还反映出了在特定语言中阅读经验的作用。要了解脑的区域是如何与真实的单词加工联系起来的，我们必须先要确定这些区域在阅读过程中的激活时间。接下来，我们将讨论，在熟练阅读者凝视阅读材料的275毫秒里，脑区域是如何被激活的。

（二）阅读中脑加工的时间进程

要了解我们的脑是如何对阅读进行加工的，我们需要一种可以将脑的活动情况和时间进程联系起来的方法。在本书的第2章中我们提到过，事件相关电位（ERPs）的研究可以把脑的各个区域的激活情况和时间信息整合起来(Posner & McCandliss，1999)。

1. 视觉激活

解剖学研究已经发现大脑左半球后部区域在词汇加工时被激活（如图7.2所示)。脑电研究发现，给被试呈现单词或是辅音字母串后的150毫秒时间内，左半球顶叶上的脑电波有显著差异（Nobre，Allison & McCarthy，1994)。视觉系统的深度电极探测的结果也显示，癫痫病人看到真词或假词时，大脑左半球在同一个时间点上表现出不同的反应（Nobre，Allison & McCarthy，1994)。最后，从头骨外部的电磁记录结果表明，词汇加工激活了左半球中线的区域(Tarkiainen，Helenius，Cornelissen & Salmelin，1999)。

156 和影像数据一样，ERP数据也表明大脑左半球区域负责将字母串整合成整体的单词，这个过程非常复杂，并且涉及不同的子区域。不过，在时间进程

上，即使完成整个任务需要700—1 000毫秒来作出反应，这些区域在最初的200毫秒里就被激活了。

2. 语义激活

为了研究高级语义加工相关的脑激活的时间进程，研究者让被试大声读出看到的单词，或者是说出这个单词的用途（Abdullaev & Posner，1998）。在这两种实验条件下，虽然被试呈现的视觉刺激一样，但被试进行的认知加工则不同，前者是单词解码任务，后者是语义分析任务。

研究者通常将两种任务条件下的事件相关电位进行相减操作。在说出单词的用途任务中，研究发现在170毫秒左右额区的ERP正波相对增加。通过数学运算的方法，可以在头皮表层对产生这一电活动的脑区进行定位分析（Scherg & Berg，1993）。结果显示，正波增加的脑电极位于额区中线附近，这个区域和负责执行注意的前扣带回区域重合。到220毫秒时，在左半球额叶外侧（图7.2中的所示方块部分）的电极区出现显著差异。大约600—700毫秒时，在左半球颞顶交界区（图7.2中菱形），也就是和威尔尼克区相近的区域，可以发现这两种实验条件下的脑电波有显著差异。这些结果表明，左半球前额叶大约在220毫秒被激活，而威尔尼克区则相对较晚，在刺激出现后大约600毫秒才被激活。由于在时间进程方面，威尔尼克区的激活比一些快速语义加工任务的反应时间还要晚，并且威尔尼克区损伤的病人表现出语义启动，但在言语的语义加工方面存在困难，因此，威尔尼克区的功能很有可能负责单词意义的整合，从而获得整个段落或句子的整体意思，这比简单的名词加工更为复杂。

这种假设已经得到了许多研究的支持，单一的词汇语义任务对左半球前额叶的激活强度大于威尔尼克区，而在句子理解任务中，则是威尔尼克区的激活强度大于左半球前额叶（Posner & Pavese，1998）。也有可能，威尔尼克区参与了语义加工任务和单词解码任务中有着相似或相同功能的早期加工过程，只不过由于减法计算方式，将这种作用减掉了。这样的话，如果单词的语义在威尔尼克区被自动激活，那么不论给被试的任务是读出单词还是对单词进行语义分析，那么经过减法计算后，都无法看到威尔尼克区的激活。

3. 加工顺序

图7.3中列出了在阅读任务下各个加工过程发生的时间顺序。不过，这个图容易形成误导，真实的认知加工并不是简单的一系列内部加工过程的组合，

因为注意功能会随时调节各个加工环节的优先次序。

157

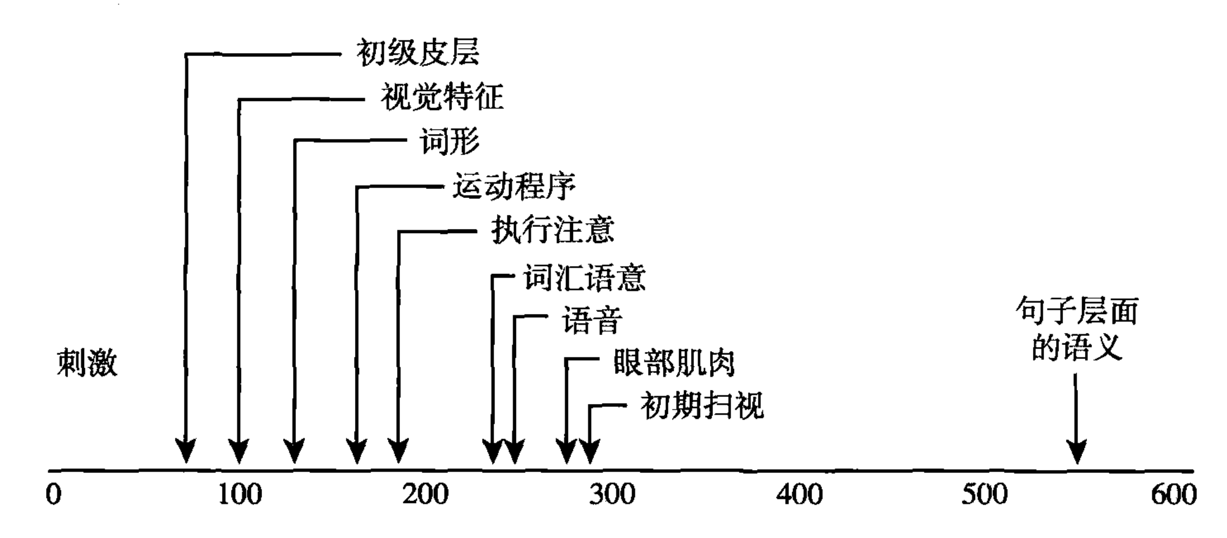


图 7.3 在词汇阅读过程中，不同的认知加工被激活的时间进程。横轴中所标示的时间以毫秒为单位。

在认知加工过程中，注意系统最先被激活，它可以再次激活各个不同的脑区，从而对参与任务的各个认知加工起到调节作用。这些过程反映了从上而下的注意调节作用，而不是依靠自下而上的感觉刺激激活某个特定脑区。目前为止，已有许多研究证据显示外部输入的刺激和注意都能激活后部脑区，包括感觉区域。例如，在视觉表象的研究中，要求被试口头描述一个字母或一个物体的形象，结果在没有感觉输入的情况下，人们的视觉皮层也可以被激活（甚至是初级视觉皮层）（Kosslyn & Thompson, 2000 ）。

那么在阅读单个单词时，注意如何调节这些加工过程的呢（Posner & Raichle, 1994）？在一项研究中，被试在两种不同的指导语的要求下看同一种刺激。其中一半的单词材料包含字体加粗的字母（例如，**A**），另一半单词以正常字体呈现（例如，A）。另外，一半的单词代表人造制品（例如，Piano），一半的单词代表自然事物（例如，tree）。在一种任务条件下，研究者要求被试根据看到的单词的语义类别进行"是—否"判断。在另一种任务条件下，则是根据单词的外部特征进行判断（是否有粗体字，例如 A**PP**LE）。

158

在一种实验情境中，被试第一轮先根据单词是否有粗字体进行判断，第二轮是对有粗字体，同时属于人工物品的单词按目标键反应。由于第二轮的任务和被试之前的任务经验有关，将会促使被试先对呈现的单词进行视觉特征判断，然后再进行语义分析。在另一种实验情境下，被试第一轮先对单词进行语义判断，第二轮对看到包含粗体字且属于人造制品的单词按目标键作反应。这

种情境下，由于被试在第一轮有进行语义判断的经验，他们应该会先对单词进行语义分析，然后再进行物理属性的判断。两种任务情境中给被试呈现的刺激和他们需要作出的反应都是一致的。只是他们进行判断时依据的内容发生调换。

研究者假设，先进行字体判断任务的被试，在他们对有粗体字并且是人造制品的单词作反应时，会先检验单词是否包含粗体字。反应时研究的结果证实被试的确产生了不同的优先处理方式。事件相关电位对额叶语义区电极记录的结果显示，当语义任务被优先时，此处的电活动信号更早地被放大（相对于先进行字体判断任务的实验情境）。后部的视觉区则显示，当粗体字任务被优先时，此处的电活动信号被更早地放大。这些结果表明，被试可以对脑加工活动的顺序进行调整，这也可以帮助我们理解，脑是如何能处理许许多多不同的任务的。通过调整不同的认知操作，我们才能够产生新的思维。

有一些潜在的认知加工过程似乎不受到指导语的影响。例如，在100毫秒左右，无论输入的视觉特征是否被判定为任务的一部分，脑都会在右半球后部的视觉区执行加工操作。当任务是要求看粗体字时，同样的脑区会被再度激活，似乎是执行额外的操作以确认字母加粗的程度是否符合目标要求。从ERP测量得到的神经电活动情况来看，注意可以在一定程度上提高某些脑区的电活动水平，但并不是激活新的更高级的联合区域，而是通过再度激活前期已经参与过认知加工的区域。

159

注意系统的调节可以使某些特定的认知操作优先进行，这为研究者分析脑加工回路提供了一种新的思路。通常将大脑回路视为一系列的固定的脑区域之间的解剖学连接，或者是一个区域内的神经元连接。但是，从解剖学的角度来看，脑的各个区域之间都存在着直接或间接的连接通路，这使得各个加工过程之间能够产生许多新的连接通路。因此，注意某个特定类型的信息可以被看作是在高级区域和低级区域之间形成了暂时的连接回路。所以，在上面提到的加粗字体和语义分类任务中就反映出，注意系统可以调控不同认知加工的活动顺序。

如果这个假设是正确的，那么我们就可以在特定的认知任务条件下，探讨不同脑区之间的关联情况。这种方法运用个体自身的注意力调控认知操作的顺序，通过高级功能回路执行任务要求。要验证这种假设，我们需要一些新的实验证据，能证明进行简单操作时对应的脑区被激活。这样当研究者要测量认知重组对神经回路的影响时，被试就可以按要求来组合这些认知

元素。

我们也可以通过分析任务完成过程中脑的不同区域之间的关联变化情况。当信息在脑的两个区域之间传递时，它们将同时被激活，并且表现出明显的相关性。目前已经有相当多的神经成像和脑电波研究都在验证这种观点。

例如，对比说出单词用途和读出单词两种条件下的脑电波，发现三种主要的 ERP 成分（Nikolaev, Ivanitsky, Ivanitsky, Abdullaev & Posner, 2001）。第一个大约在 100 毫秒的时候，将额区中线与颞叶和额叶联系起来，表明注意系统也许通过启动语音系统促进这一加工过程。第二个成分似乎和信息从左半球额区（参与词典加工）传递到后部脑区（参与词典意义，见图 7.4）有关。第三个出现相对更晚，可能和运动输出有关。这些关联和时间进程方面的信息非常吻合。这也说明了要深入研究参与某个特殊任务中的神经回路时，最好同时使用两种方法。

160

4. 从单词到句子

在一般的熟练阅读中，目光会停留在既定单词上的时间大约为 275 毫秒（Rayer & Plooatsek, 1989）。在单词再认过程中，这种时间限制有助于在研究中进行时间记录。例如，在呈现单个单词时记录脑的事件相关电位的活动情况。读者通常在看完一个单词后，向右移动 7—8 个字母的距离。大约有 10%—15% 的时间，会向左回视。虽然测量过程中还有很多不可控的变量，但测量结果显示，文章的难易程度、被试的阅读水平有重要的影响作用。例如，当文章难度很大时，注视的时间会更长，扫视时间会更短，并且有更多的回视。眼动监控技术能灵敏地记录到加工过程中遇到的困难。它可以记录总的凝视时间，或者总体的阅读速度，而且可以记录到注视每一个单词时的状况。

161

在阅读过程中注视单个单词的时间反映了加工的难易程度。在图 7.3 中列出了目光移动时进行的加工。图中总结了我们前面讨论到的各个脑区进行认知加工的时间进程。虽然这些都还只是有待确定的，但它们至少将阅读中的眼动与当前的脑活动进行了粗略地匹配。前面提到过，根据已有的眼动研究发现，在阅读中目光大约会停留 275 毫秒。停留的时间和注视的单词的词义有关，这表明被试至少在这个时间内进行了语义加工。这段注视的时间足以让左半球后部区域影响到扫视行为，而左半球的额区则会影响眼动本身。这些研究发现虽然还不完整，但也告诉我们，熟练阅读者在阅读篇章的过程中，其不同脑区活动的时间进程与眼动的情况具有一致性。从这个意义上来讲，对单个词语的分

析对于进一步了解大脑在自然状态下的阅读有重要的启示作用。

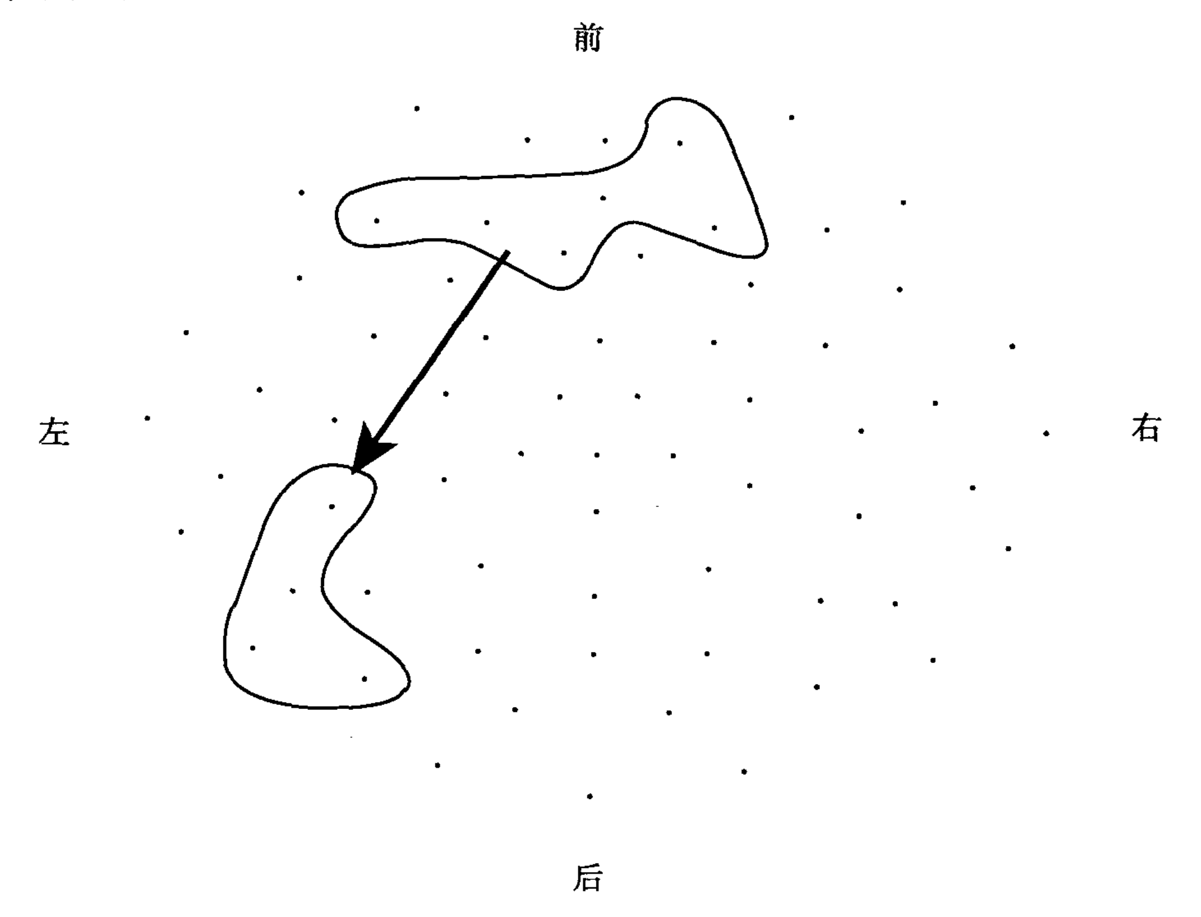


图7.4 语义分析时脑区之间的信息转换。在说出单词用途的任务中，在450毫秒左右，不同头皮电极之间的相关性反映了额叶区和后部区域之间的信息传递。改编自“Short-Term Correlation Between Frontal and Wernicke's Areas in Word Association,” By A. R. Nikolaev, G. A. Ivanitsky, Y. G. Abdullaev & M. I. Posner, 2001。Neuroscience Letters, 298, p. 108。Copyright 2001 by Elsevier. 经允许改编。

二、阅读经验的作用

到目前为止，在我们所讨论的大多数与阅读有关的神经回路的研究中，使用的方法要么是改变任务指导语，要么是改变呈现刺激，然后观察脑皮层激活的变化情况。还有一种重要的方法则是使实验中的任务和刺激条件不变，但改变被试完成任务时的经验。用一个单词作为启动刺激，可以在几秒的时间内迅速改变被试的经验，从而改变他们对视觉呈现的单词的反应；对所给的单词列表进行联想，被试的经验可以在几分钟内就变得和从前不同；学习一种新的语言中单词的意义，可以在几周内改变被试的经验；学习阅读一种新的语言能力，或者是开始掌握阅读的技能，可以在几年后改变被试的阅读经验。因此，

我们考察经验所引起的脑活动的改变，可以在不同的时间量表上进行测量。我们分别研究了上述的几种情况，并且探讨了经验改变的程度对单词阅读的神经回路的不同层面的影响。

（一）练习

在 Raichle 等（1994）的研究中，他们重复使用一系列名词，要求被试说出每个名词的相关用途。当单词列表被重复几次以后，被试对练习过的单词的反应速度更快，并且每次说出的名词用途总是一样的，而他们对旧词作出反应相对新词更容易一些。脑扫描的结果显示，训练前后脑的激活情况也有变化。

1. 自动输出的通路

在练习之后，大脑左半球额叶外侧、后部语义区（图 7.2 中方块和菱形部分）以及前扣带回的激活显著减少。然而，岛叶皮层的激活程度增加（图 1.1），其激活情况与完成出声朗读时的状况相同。前扣带回似乎与自动产生单词有密切关系（Dronkers，1996）。Raichle 等（1994）认为，岛叶是自动输出通路的一部分。当人们需要寻找正确的输出信息时，这条通路就被抑制了，另一条由皮层的语义区和前扣带回参与的通路则被激活。

2. 提取单词

Abdullaev 和 Posner（1998）通过记录头皮的电活动研究了词汇产生任务中练习的作用。在这之前，Raichle 等（1994）的研究给被试呈现一个包括 40 个单词的列表，并让他们重复 10 遍这些单词的用途，重复任务让被试的表现达到了高度自动化。而在这个 ERP 研究（Abdullaev & Posner，1998）中，研究者用了 100 个名词，并且要求被试在重复完成任务的过程中，每次都根据名词列表说出同样的对应用途。脑电波研究结果显示，额区和威尔尼克区的头皮电活动的强度随练习增加而减少。但练习条件下在右侧额区诱发出正波。右侧前额叶的激活表明任务中对记忆信息的显性回忆过程（Havib，Nyberg & Tulving，2003）。电活动研究的发现说明，在刺激输入 250 毫秒后，右侧额部开始打开先前的记忆，以提取出所存储的词汇的相关信息。

3. 产生新的思想

当被试完成用途任务到第4遍时，研究者要求他们说出和这些名词有关的新的、不常见的用途。这时，第一次操作任务时的状态，即早期额区的正波又出现了。随后，颞顶联合区后部的正波和第一次操作任务时的强度相同，并且在左右半球的对称区域出现了双峰。右半球与威尔尼克区对应的区域似乎也参与了产生新想法的加工活动。这些结果说明，在进行语义关联的加工时，脑不同区域之间会形成暂时的联系，这和认知及脑损伤研究的结果一致，即不常见的关联任务需要来自右半球的额外的加工资源。

（二）学习词汇

词汇学习过程中也反映了经验改变了大脑皮层对视觉词汇的激活模式。再认出一个非常熟悉的单词和加工一个完全不熟悉的单词相比，两种情况下脑的激活有很大的不同。同样的视觉单词，刚开始是知觉为没有意义的单词，但通过几周或几个月的学习后，可以迅速地通达我们的心理词典。

1. 提高反应时

在一项词汇学习研究中，研究者让被试学习一些新的词汇，并在几周时间内观察被试神经回路的改变（McCandliss, Posner & Givon, 1997）。新的单词是根据人工正字法规则组成的，也就是根据有限的构词规则将字母组合成的单词。这些“单词”可以发音，但包含一些英语中不常见的元素，并且单词的形式更像意大利语或西班牙语。

一半的单词材料是根据正字法规则构成的缩微的人工语言，称为Keki。另一半只用来作测试（Keki的控制材料）。这些实验材料可以用于比较特定的学习和同等的控制材料。每个Keki单词和英文中的一个高频词的意思对应（例如，GILKI=bird，PENKA=black）。一共68个Keki单词形成了小范围的功能语言，它们可以组合起来表达一些有意义的句子。

一组本科生通过一套视听的电脑程序学习Keki单词，每天学习2小时，每周学习5天，一直持续学习了5周。在每次2小时的训练中，被试通过交互式练习来学习，并且在有意义的篇章中学习Keki单词。这样，对这些由新的正字法系统构成的单词列表，被试得到了大量的视觉和语义训练（5周共50个小时）。

研究者在训练课程中间设定几个行为研究的观察点，以追踪学习的效果。两个视觉单词连续呈现，要求被试判定前后看到的两个单词是否相同。呈现的刺激中包括英语中高频的单词、Keki 单词以及 Keki 的匹配控制材料。被试对英文单词比 Keki 控制材料的反应时更快（一种词语优先效应）。Keki 单词在训练之前没有表现出这种优先效应，而直到训练 5 周后才出现。这一结果支持了研究者的假设，即 Keki 单词在某种程度上和高频英语单词有相同的加工性质。

2. 发展词形

一项事件相关电位的研究（Posner & McCandliss, 1999）研究了 50 个小时的学习 Keki 单词的过程是如何改变加工视觉词形的大脑后部早期事件相关电位成分以及在通达词义过程中不同脑区的事件相关电位成分的变化。通过在三种不同的指导语条件下呈现刺激，研究者考察了被试的加工目标对脑电活动的影响。被试被要求在语义条件下判断所看到的单词是否代表可以触摸的东西，在视觉搜索条件下判断呈现的视觉刺激中是否有一个加粗的单词，而被动注视条件下只要求被试看呈现的刺激（不作任何反应）。

研究者分别在训练前、训练中和训练结束后通过事件相关电位技术测量被试对 Keki 单词、Keki 控制材料以及英语单词的反应。另外，用辅音字母串作为事件相关电位实验中测量的基线。为了分析 Keki 训练对视觉词形加工的影响，研究中使用了和以前研究中相同的词形区的电极信号点和时间进程。英文真词、辅音字母串、Keki 单词以及 Keki 控制材料作为实验中的刺激材料。

不论训练与否，被试对 Keki 单词和 Keki 控制材料的反应都处于辅音字母串和英文单词之间。词形区对呈现的字母串的内部结构敏感，具体表现为对高度熟悉的英文单词引起的波幅最大，对符合正字法规则的 Keki 单词和 Keki 控制材料的反应次之，而对于辅音字母串反应最弱。这种反应模式在各个训练阶段（训练前、训练中以及训练后）和三种任务条件（被动看、语义判断、视觉特征判断）下都是一致的。

研究者通过比较训练过的 Keki 单词和未经训练的 Keki 控制材料事件相关单位早期后部的成分，考察了单词熟悉性对被试的影响。结果显示，训练没有任何改变作用。事件相关电位的各成分在 50 个小时的训练后并没有明显的改变。在加工最初的 200 毫秒，成人被试的视觉词形系统没有受到单词熟悉性的影响。而无论新异还是熟悉的字母串，视觉词形系统对材料的抽象字形结构都表现出高度敏感。因此，事件相关电位早期后部的成分向我们表明了词形系统

的特性，它对正字法规则非常敏感，对视觉单词的熟悉性则不敏感，并且改变起来很慢。

3. 词义

这项研究的另一个目的是为了考察词汇学习对词义系统的影响。在被动看的任务中，当英语单词呈现后大约300毫秒，脑电波（相对辅音字母串的脑电波）表现为负走向。这种效应在语义判断任务条件下放大为两倍，而在非语义判断任务条件下（字母特征判断任务），这种效应则被减弱。和早期的正字法效应（只涉及后部脑区）不同，这种效应分布于左半球的不同区域，包括后部和前部区域。在同一个时间窗口（280—360毫秒）比较Keki单词和Keki控制材料在语义任务条件下诱发的事件相关电位，发现了5周训练过程中语义系统的变化。

在第一阶段，Keki单词和Keki控制材料诱发的电位没有显著差异，但相对英语单词都表现为偏正性。经过一段时间的训练后，Keki单词和控制材料之间表现出差异，这种差异类似于Keki单词和英语单词之间的差别，而Keki控制材料和辅音字母串两种刺激条件下的反应相对英语单词更具偏正性。经过50个小时的训练后，Keki单词诱发的事件相关电位和看到英文单词时的反应一致，并且和Keki控制材料以及辅音字母串之间的差异达到显著。和英语单词的反应效应一样，Keki单词和控制材料之间的差异分布在后部和前部的不同脑区。

总之，这些结果证实，心理词典项目的学习过程可以进行追踪研究。不同层面的学习将引起对应的神经回路系统的变化。在最初200毫秒的加工过程中，字母串的正字法规则影响脑后部和视觉词形区域有关的加工。而且，这些加工不受任务要求影响，并在50个小时的训练后也没有显著变化。这种学习效应也在左半球前额区和后部区域表现出来，这种学习效应在被试参与词义加工时表现最明显。这些发现解释了经验改变神经回路，表明阅读中涉及的一些神经回路相对更容易被经验所改变。相信这个研究中所用到的方法可以帮助我们进一步理解不同形式的学习和神经回路的改变的关系。

即使对成人，通过练习和新的学习也可以改变参与阅读过程的一些神经回路。虽然参与阅读的基本脑区域仍然不变，但注意、练习和学习会改变它们激活的时间进程，并且根据任务要求临时调整一些加工操作的优先顺序。

166

三、读写能力的习得

哪种阅读教学方法最适合儿童，目前在这个问题上已经达成一致。美国阅读委员会（Institute of Child Health and Human Development，2000）强调言语中的一个小的单位——音素——在阅读学习中的重要性。一些游戏通常能表明儿童的音素意识能力，如给口语单词匹配押韵的单词，或使用特殊的听觉语言，比如儿童黑话（Pig Latin，儿童黑话是指把单词的第一个辅音字母移至词尾并附加上另外的一个音节而成的一种行话，如用 igpay atinlay 来代替 pig latin。——译者注）。

（一）音素意识

前面已经介绍过，即使某种语言婴儿从来没有接触过，但它从出生开始就可以分辨这种语言中的音素。研究者发现，当一个新的音素取代一个重复的音素声音时，婴儿的注意力会被吸引。在1岁以前，甚至婴儿还没有开始牙牙学语，婴儿逐渐开始根据他们所听到的语言形成音素表征。这个形成的过程意味着母语中音素的范围逐渐清晰化，但同时也失去了对其他语言中音素的辨别能力（P. K. Kuhl et al.，2003）。有证据表明，如果和一个外国人交流，就能够避免辨别这些音素的能力渐渐消失掉。

通过特殊的语音教学，书面语中的字母符号可以和口语中的音素对应起来。教儿童如何读单词和非词可以有效提高他们的阅读学习能力。阅读困难者却无法知觉出口语单词中所包含的音素，也不能将字母和音素信息对应起来。

我们可以运用儿童如何学习阅读的知识来提高教学吗？已经有不少教学方法将英语中声音结构的特点和阅读技能学习结合起来（McCandliss，Beck，Sandak & Perfetti，2000）。在阅读早期，许多儿童偏向于将书本中的单词不加分解地作为整体认读，这会使他们难以学习到字母和音素之间的“形音对应规则”，而这种对应规则有利于单词学习的迁移。

167

近年来，研究者将解码技能训练的教学实验与影像技术结合起来，以观察由训练引发的脑活动的改变（B. A. Shaywitz et al.，2004；S. E. Shaywitz，2003）。这些研究中所用到的各种教学计划和活动主要训练儿童将注意力集中于单词解码时的分析方式。儿童的注意力能有助于他们重点关注到特定的语音组成的词根上，形成单词解码的自动化。

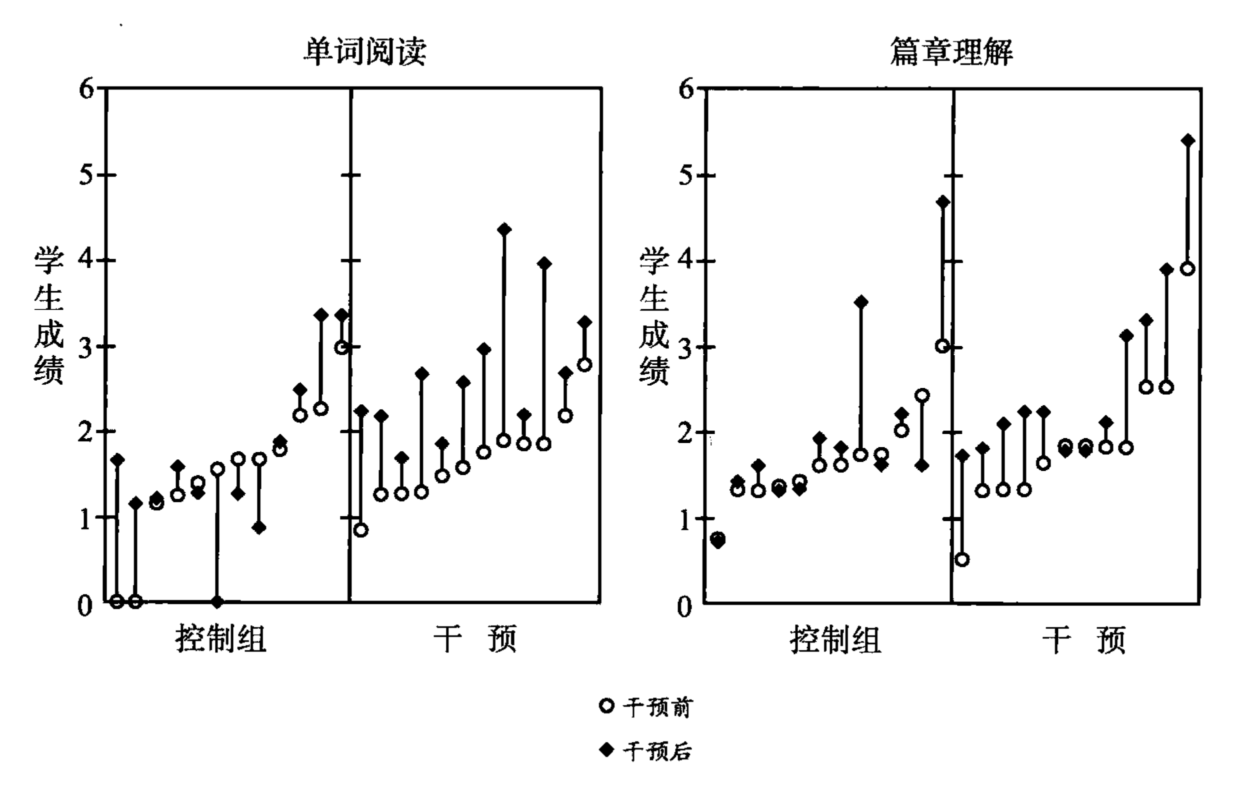


图 7.5　训练提高了阅读成绩。如图所示，低于年级水平的实验组儿童参加了 20 个单元的基于语音的计算机训练课程，控制组儿童则进行正常的课堂学习。结果显示，实验组在单词阅读（左图）和篇章理解（右图）方面的成绩都得到了提高。摘自 "Focusing Attention on Decoding for Children with Poor Reading Skill" by B. McCandliss, I. L. Beck, R. Sandak & C. Perfetti, 2000, Scientific Studies of Reading, 7, p. 95. Copytight 2000 by Lawrence Erlbaum Associate. 经允许改编。

这种训练对那些阅读困难程度较重的儿童来说效果非常明显。经过 20 个小时的训练后，他们单词解码的能力提高了 1.4 个年级水平。更重要的是，几乎所有参加训练的儿童的阅读能力都得到了提高（图 7.5）。而从图表中可以看到，没有参加特定语音训练的儿童，其阅读能力没有明显的改善。虽然这些研究主要针对单词解码水平，但在改善解码能力的同时，儿童的句子理解能力也得到了提高。另一项神经影像学研究中，针对被试的音素分析能力进行了为期一年的训练（B. A. Shaywitz et al. , 2004）。在这项研究中，给控制组被试进行普通的、没有专门针对音素的教学训练。训练前的脑扫描发现，实验组被试的视觉词形区和语音加工区在阅读时没有被激活。但是，他们比普通被试的额区激活程度更强，这或许反映了他们有意识的注意。经过一年的音素训练，儿童的阅读能力得以明显提高，同时脑扫描结果显示，他们在阅读时后语音区和视觉词形区的激活程度也增加了（图 7.6）。

168

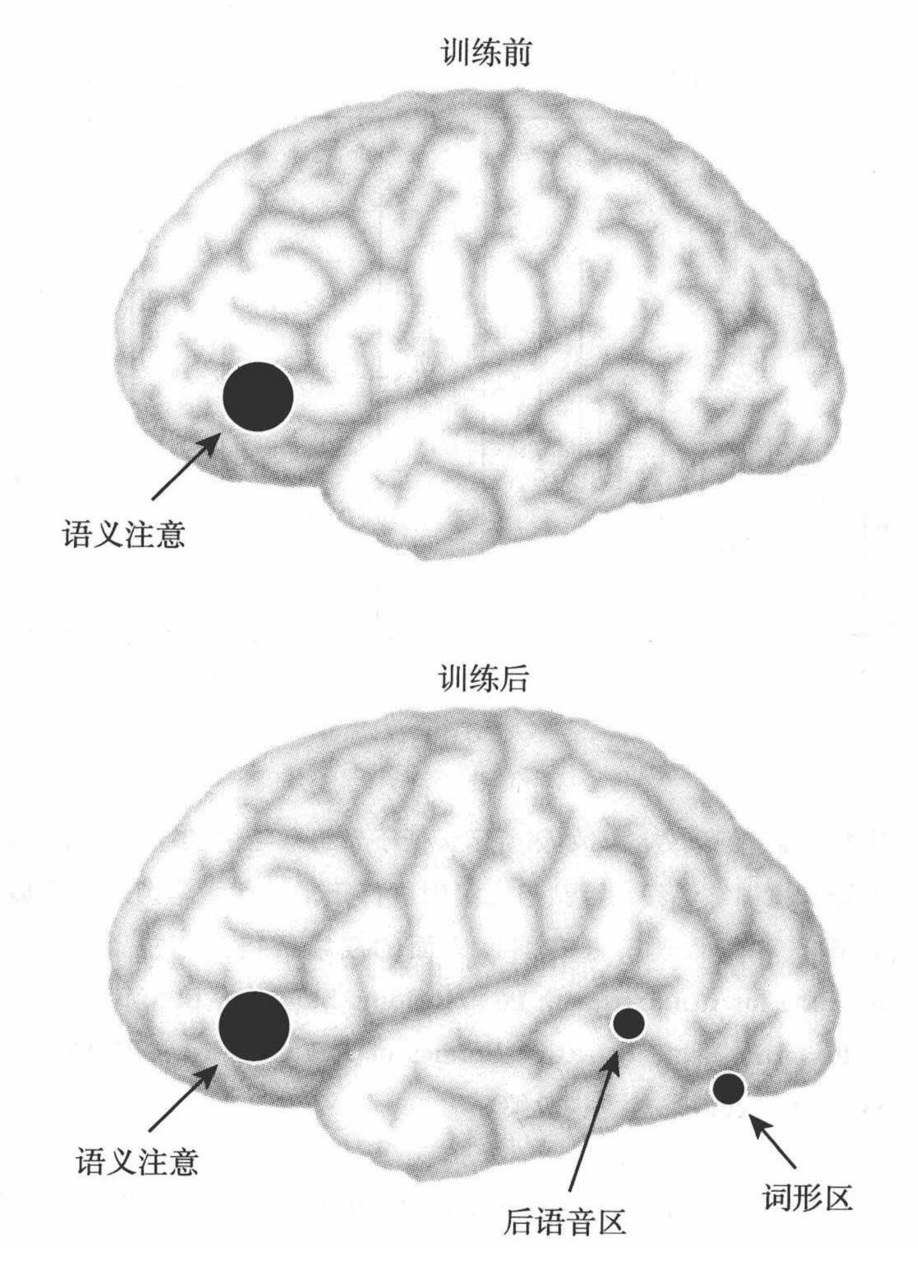


图 7.6　训练前后阅读时脑的活动情况。对有阅读困难的孩子在音素训练前后进行脑扫描。结果发现，在训练后被试左半球颞上回（后语音脑区）以及视觉词形区有明显改善(S. E. Shaywitz, 2003)。

另一项对一组阅读困难的儿童进行训练的研究也得到了积极的效果(Temple et al. , 2003)。研究中的干预方法主要针对于听觉音素分析，并用一种名为"快速向前"的商业性教学程序训练儿童理解和分割音素。儿童在经过训练后，其额区的激活程度显著增加，成人的这个区域和音素分析有关(图 7.2 中三角形区域)。

169　这些研究表明，至少对部分儿童来说，加强音素自动分析的干预方法，能有效改善他们的阅读能力。目前来看，我们还无法确定到底是哪种训练对阅读障碍的哪方面起到了作用。但是，从阅读障碍儿童进行音素训练的结果来看，

其中存在一个矛盾之处：训练被试的音素意识和语音确实提高了他们的阅读成绩，改善了神经系统的激活程度，但它不是流利阅读的充分条件。很显然对流利阅读来说，单靠单词解码的技能是远远不足的。前面所引用的一项研究（B. A. Shaywitz et al., 2004）却又恰恰证实，通过训练解码技能改善视觉词形区并产生了流利阅读。要想解决这个矛盾，我们还需要进一步了解视觉词形区是如何发展的。

（二）词形系统的发展

Posner 等曾进行了一项专门针对儿童词形系统发展的研究（Posner & McCandliss, 1999）。儿童被分为 4 岁、7 岁、10 岁三个组，在他们看屏幕上出现的字母串时记录其脑电信息。研究主要关注儿童在学习阅读之前的状态。研究者要求儿童被动地注视这些字母串，或是主动加工字母串，即判断呈现的字母串中是否有某个字母字体被加粗。

研究结果显示，虽然儿童的脑电波和成人总体上区别很大，但和成人类似，不同年龄组儿童在主动和被动条件下都表现出明显的任务差异，即在对加粗字体进行积极搜索的任务条件下，后部通道波幅的正性增大。和其他一些 ERP 的发展性研究一样，这种效应的潜伏期随年龄增加而减少。

在这些任务中，其中一半的字母串取自一年级中学习的高频词，另一半由辅音字母串构成。以往对成人的研究发现，脑对两种材料加工的差异在最初的 200 毫秒就出现在后部通道（McCandliss et al., 1997）。而且加工 Keki 单词和辅音字母串时，不管是在被动看还是特征搜索的任务条件下，都会出现上述的差异效应。

在我们的研究中，虽然 7 岁儿童已经可以认读实验中呈现给他们的单词，但在 4 岁和 7 岁两组儿童中，单词和辅音字母串两种材料条件下产生的差异很小。而 10 岁儿童情况比较特殊，他们在 200—300 毫秒的时间窗，在后下部脑区出现词汇特定性知识的效应，这和成人研究的结果类似。和成人的 ERP 研究结果所不同的是，10 岁儿童组中没有发现有关正字法解码的效应存在。而是只对他们已经知道的词语，才在早期脑电活动中表现出单词和辅音字母串的差异。

170

这项研究表明，10 岁儿童将视觉呈现的字母整合为单词的方式不同于成人。10 岁儿童表现出两个不同的阶段。第一阶段主要是定位于词形系统，发生的时间大约比成人晚 30—40 毫秒。在这个阶段，他们对熟悉的单词的反应

不同于不熟悉的单词以及辅音字母串，这表明视觉词形系统对熟悉性敏感，而对正字法规则不敏感。与此相反的是，对成人的视觉词形系统而言，不论所呈现的字母串是否是熟悉的单词，都对单词的正字法敏感。

第二个阶段出现在随后的300毫秒，而且有些提前，10岁儿童能够有效区分单词（无论是熟悉还是不熟悉的）和辅音字母串，这表明他们能够基于正字法进行判断。这种区分很有可能是基于读出单词的难易程度，对熟悉的单词最容易读出，其次是不熟悉的单词和辅音字母串。

这些发现告诉我们，词形系统很有可能是从单词的熟悉性演化而来。我们研究中的7岁儿童被试，他们已经可以读一些单词了，在大约300毫秒时脑电活动显示他们可以区分熟悉的单词和不熟悉的单词，但这些单词都是我们之前在实验室中通过语音训练法提前接触过的。10岁的儿童被试，这种基于熟悉性的效应发生的时间更早一些，并且在未经实验室训练的、他们自己学习过的单词中也有表现。

一些单词加工的联结主义模型［例如，图7.1中表示的Harm和Seidenberg（2004）的模型］认为基于正字法的判断其实质是将输入的字母串和头脑中储存的模板进行对照，看哪一个和模板更接近。对10岁儿童研究的结果符合这一理论假说。假如在10岁的时候儿童头脑中已经形成的模板还不多，那么他们对熟悉和不熟悉的单词的反应就会有很大的差异。

在发育过程中，随着学习的深入，形成的模板逐渐增加。对成人来说，他们作出的反应，不是特定的单词的熟悉程度，而是输入的字符信息激活这些相关模板的程度。对成人而言，一个看似规则但不熟悉的字母串将会被当作单词来处理。但儿童处理单词的方式就不是这样了。

171 基于这种观点，通过模板存储形成的熟悉性，是词形系统发展的基本机制。但是由于对成人而言，符合正字法规则的非词和真词非常接近，因此两者没有明显的差异。这种假设和研究的结果相一致，即真词和符合正字法规则的非词之间没有显著差异。不过，如果词形系统的基本机制是存储模板，那么非常令人奇怪的是，Keki单词经过50个小时的训练后，与没有经过训练的Keki控制材料之间没有显示出差异（McCandliss et al.，1997）。也许是因为Keki单词从正字法规则上看非常接近英语单词，因此表现出相似的临近效应，也可能是因为对神经网络的塑造作用，使得新的模板轻易地改变了10岁儿童的系统，但却没有改变成人的系统。

无论这种特定的机制是什么，这些结果表明，儿童和成人在词汇加工时其字母自动整合的方式不一样。对熟悉的单词，儿童可以将字母串整合为视觉词

汇形式，而对于不熟悉的单词，他们需要依赖于进一步的有意识的机制。这种研究方法和结果使我们能够更进一步地研究阅读学习的操作系统，有助于今后阅读技能的研究。

四、有关读写研究的启示

不断涌现出的新的研究成果为有针对性的教育干预方案提供了理论基础。现在语音训练被许多学校所广泛使用，这种方法通常能有效地提高阅读困难儿童的阅读成绩。问题在于，语音训练本身并不能产生流利阅读。虽然语音训练在改善脑后部的语音区域方面非常有效，而激励读者以整词训练或其他方式来练习阅读，则可以促进词形区域的发展。但我们需要更明确的研究来确定提高解码技能和流利阅读技能的最佳方案。普通读者可以通过阅读来提高这方面的能力。而阅读困难者可能由于阅读量不足，不能适当地发展他们的词形区域。

神经影像研究可以有助于研究者确定，到底哪项课程对阅读神经网络的哪部分起作用。不过一些基本的行为测验，例如假词阅读，也可以简单地确定一些个别儿童需要的训练形式。神经回路成像的技术，使得研究者能对教育干预的措施进行调整，这样就可以对有阅读困难的儿童进行更有针对性地教育。

172

前面所介绍的这些研究都表明，学习阅读的过程开始于学龄前。在出生后第一年，婴儿和其抚养者之间的交流就为他们母语中音素原型的形成确立了基础。这个过程对口语发展来说就足够了，但是如果这个交流过程不充分的话，就会影响到阅读中涉及的音素意识的发展。在第4章中，我们介绍了自我调节能力的发展。这种发展也开始于儿童接受正式阅读学习之前，而且可能对阅读教学的效果有重要的影响作用。当学校的阅读教学逐渐深入时，儿童学习读出单词就很重要了，因为通过这种方式能帮助他们将看到的字母和听到语言对应起来。同时，流利阅读的过程还需要字母能够被自动地组合成词根。这种能力出现的年龄可能比预期的更晚一些。对许多儿童来说，阅读本身就能帮助他们形成这种能力。但对有特定困难的儿童而言，针对自动组块的练习则需要加强。

五、小结

神经影像学的方法已经被证明非常适合研究成人的高级功能回路。在这一章中，我们介绍了一些使用这种方法的例子。它可以被用于深入研究阅读涉及

的大脑结构以及阅读加工中的时间进程。理论上说，各种加工操作的时间进程恰好配合了熟练阅读过程中眼的注视和眼动的需要。

虽然在个体的神经回路中可能出现非常迅速的改变，但有时候也可能需要通过很多年的学习才能完成改变过程。例如对有阅读障碍的儿童进行干预后发现，他们脑中的改变非常缓慢。这些研究证据都显示，特定的干预训练可以改善脑后部与语音相关的脑区以及视觉词形系统。在今后的研究中，研究者还需要深入探讨神经回路的变化，以更好地理解儿童在阅读中遇到的障碍，并促进更有效的阅读教学。

第八章

173

计 算 能 力

在本书第 7 章中，我们介绍了一些可以应用于学习新技能的重要原则。但是所有技能的学习并非都相同；事实确实如此，儿童期数学能力和阅读能力的发展有着天壤之别。两者研究的共同之处在于，都需要测量被试是否掌握了相关的初步概念这一方法。

理解数字的第一步，是把量的概念分解为适当的层次来理解。这样我们就能看到脑是如何处理这些计算信息，然后把这些信息和其他与数字相关的信息融合在一起。最近的研究通过人类和其他动物理解数字的能力来认识“数量”这个概念，在这些研究中甚至不需要任何言语的数数任务。这个理念就是，正如人们自动地评价物体的位置、形状和情感效价等特征，一堆分散开的物体则给人以数量的概念。

一、理解数量概念

对于数量概念的初步理解出现在动物和人类婴儿身上。如果有奖励，老鼠也能够学会区分大小。比如说，它们可以从八色序列中区分双色序列，即使这两个序列的时间总长度是相同的（Meck & Church，1983）。并且无论时间总长度是否相同，老鼠都能基于序列中出现的颜色数目作出判断。

174

通过训练，猴子也能够识别阿拉伯数字（Boysen & Berntson，1996）。通过专门的训练，它们可以把数字 0—9 和奖励的量联系起来。在第 5 章我们讨论的研究中，科学家训练猴子把数字和奖励的多少联系起来，教它们把操纵杆指向物体数量多的一边（Washburn，1994）。如果物体是数字的话，猴子则会

有数字的 stroop 效应产生。就是说，如果当数字呈现次数和其本身数字大小不一致的时候，猴子的反应时间较长（例如，数字 6 呈现两次，而数字 3 呈现 4 次）。众所周知，数字的 Stroop 效应会强烈激活人脑的前扣带回。

这些恒河猴所表现出的数字 Stroop 效应说明，数字训练已经足以促使猴子形成对数字所代表的数量作出自动快速的反应，这样的反应导致了数字 Stroop 效应的发生。科学家认为，和人类的注意执行系统（本书第 4 章有介绍）相似的高级注意系统的工作可能是猴子能够对不一致的 Stroop 实验作出反应的原因。由于猴子在实验过程中犯了大量的错误，所以猴子并不能像成年人类一样运用这种能力。成人和猴子一样，当不能数数的时候，他们可以基于内隐的数量概念进行大致的推断。比如说，如果呈现一系列快速的闪光，快到无法进行外显的数数，那么只要速度不至于太快，成人仍然可以根据内隐计数给出精确的信息（Whalen，Gallistel & Gelman，1999）。如果高速率呈现事件，这样刺激物持续的时间对于呈现次数就是一个明显的提示，那么被试报告的是刺激持续时间内累积了多少次 0.1 秒的时间间隔（Cheatham & White，1954）。这一研究结果说明，可能有一个对刺激物持续时间进行判断的基本单位。如果记录头皮的脑电波，将之分解为周期成分，那么最长周期是每秒 10 个循环（alpha 周期）。Cheatham 和 White（1954）猜测这个周期可能和数字报告的顺序相关。无论如何，数据都清楚地表明，即使在没有言语参与的情况下，机体也可以对持续时间和数量大小进行累加。

175

二、心理数轴

当要求成人比较两个数字的大小时，决定成人反应速度的是这两个数字在心理数轴上的距离间隔大小（图 8.1），这个效应可能是自动化的过程。比如说，如果要求被试比较两个物体的物理尺寸大小，如果物体是数字的话（例如，4 vs. 6），被试便会出现 Stroop 效应（Tzelgov，Meyer & Henik，1992）。如果数字的数量大小和物理大小一致，则被试的反应速度就比两者不一致时的反应速度快。在对猴子进行的实验以及数字 Stroop 任务的实验中（第 4 章），对数量都有自动激活。

脑成像研究也证明数量的自动激活效果。在一项研究中，要求成人被试判断目标数字大于还是小于 5。在目标数字出现之前，会有一个数字呈现，但被试意识不到这个数字的出现，更不能报告这个数字（这个数字呈现的时间非常短暂并且马上被视觉干扰所覆盖，称为“掩蔽”）。但是，这种启动效应既

会影响被试的反应速度（如果目标数字出现在5的同一侧则反应速度就更快），也会影响与反应过程相关的运动神经系统的激活程度（用功能磁共振进行研究）（Koechlin，Naccache，Block & Dehaene，1999；Pinel，Dehaene，Riviere & LeBihan，2001）。

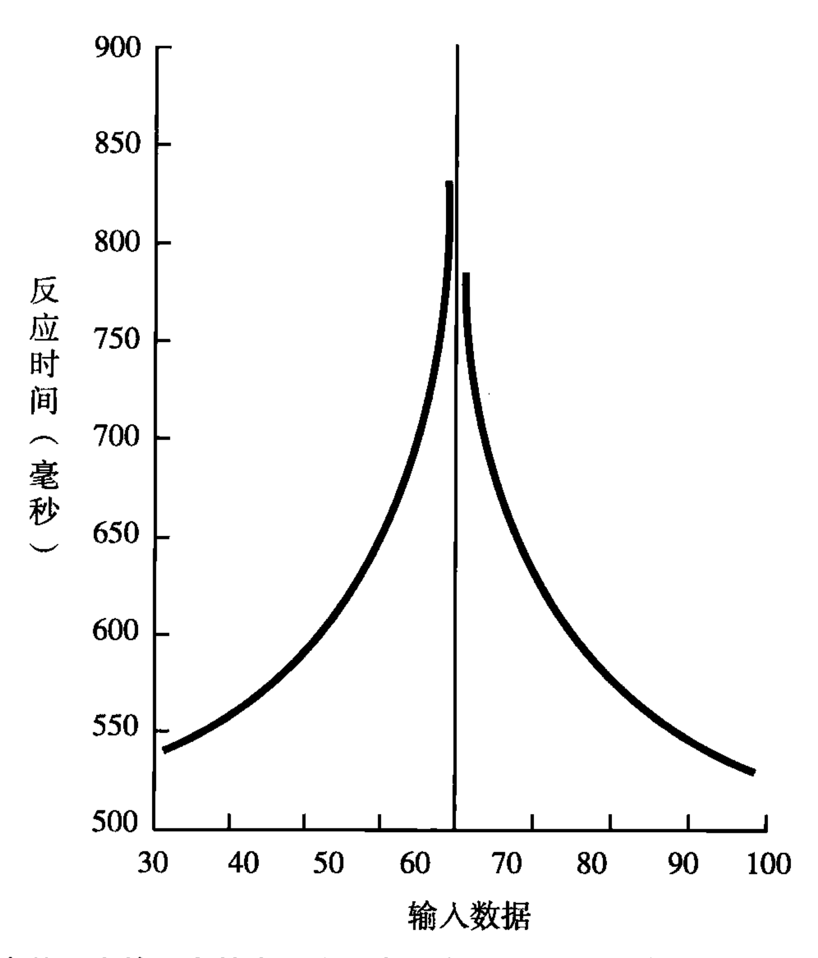


图8.1 数字处理中的距离效应：此图表现在同数字65比较时不同数字所需的反应时长。它揭示了距离效应，判断两个数字不同所需要的时间以及它们的距离作用。摘自“Is Numerical Comparison Digital? Analogical and Symbolic Effects in Two-Digits Number Comparison” by S. Dehaene，E. Dupoux and J. Mehler，1990，Journal of Experimental psychology：Human Perception and Performance，16，p. 627. Copyright 1990 by the American Psychological Association.

数字的大小离5的距离越近，无论大于或是小于5，被试的反应时都会更长。这一发现说明存在着一种表征，其形式类似于一维空间。这种类比的数字表达形式就是心理数轴。一般认为，心理数轴是一种认知表征形式，数量的大小在这一心理数轴上有其对应的距离间隔。心理数轴之于数量概念理解的关系，就如视觉文字形式（单词）之于字母如何组成单词的理解。虽然一个词是由分离的单个字母组成的，但是组成之后的输出却是统一的组块。同样地，心理数轴的输入形式可能是拼写的单词、数字或是点，但其输出却是一个数

176

量。数量是指脑把刺激和其他潜在刺激以某种形式联系起来，以反映这些刺激所代表的不同数量。相比数字 6 来讲，数字 7 从外观上更像 1。但是心理数轴上把 7 放在 6 和 8 之间，为其提供一个数量。这一属性正是我们在图 8.1 中所讲的距离效应的机制。几乎所有的数量任务都取决于对数量的理解，因此了解心理数轴是如何工作和发展的非常重要。

（一）判断数量的脑解剖结构和神经回路

对于健康成人是如何判断阿拉伯数字（例如，2）和文字数字（例如，二）的数量的，其基本的脑解剖结构和神经回路这些问题，我们都已经有了研究结果（Dehaene，1996）。实验任务是让被试判断给出的刺激（例如，4，四）大于还是小于 5。被试的反应时会因为刺激的不同形式（阿拉伯数字或是文字数字）、与 5 的不同距离大小（近或远），以及输出的形式而不同，详细见图 8.2。

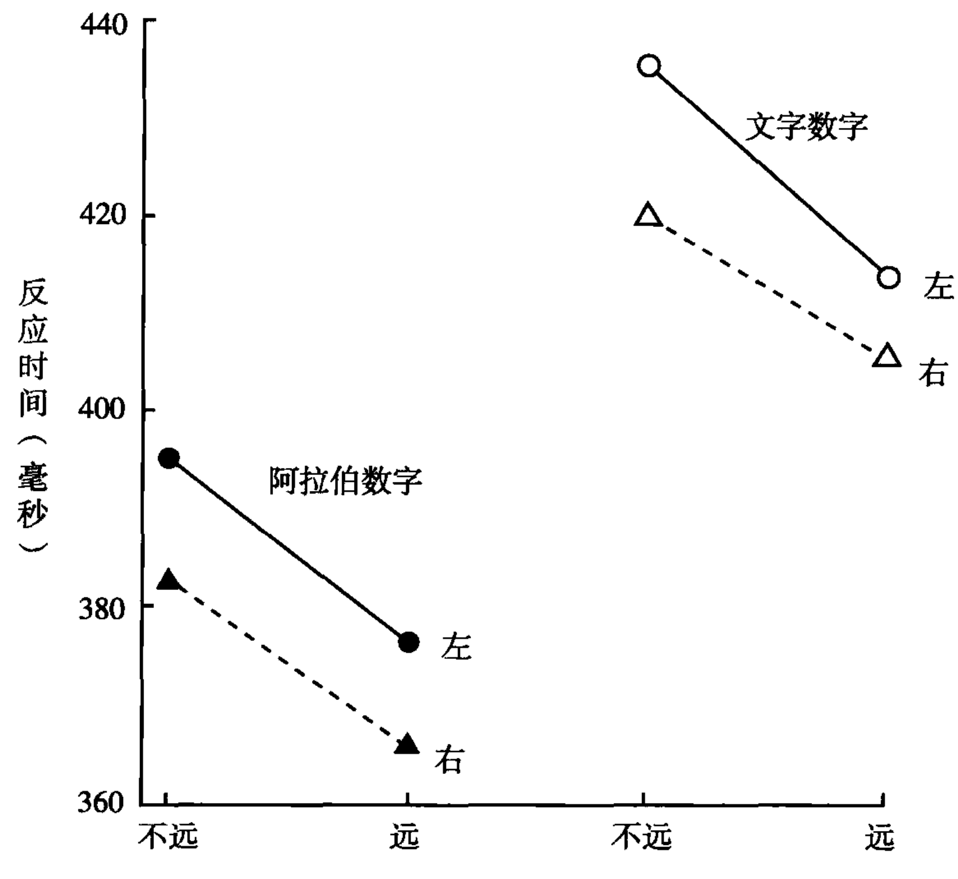


图 8.2　由语义、距离以及不同反应手的作用而产生的反应时。这三个效果是加因素，表明在第 2 章讨论过的序列发展阶段。摘自“The Organization of Brain Activations in Number Comparison：Event-Related Potentials and the Additive-Factors Method” by S. Dehaene，1996，Journal of Cognitive Neuroscience，8，p. 52. Copyright 1996 by the Massachusetts Institute of Technology. 经允许重印。

图 8.2 中显示的结果说明，由于刺激类型而导致的反应时增加的量与到 5 的距离无关。而且，无论是什么形式的刺激（文字数字 vs. 阿拉伯数字），是左利手还是右利手，当与 5 的距离增大时，反应时都减少。这种独立变量之间的增加形式与第 2 章中讲的加因素方法中的序列加工阶段是一致的。

177

（二）脑区的工作

根据本书第 2 章中所讨论的加因素法的逻辑，图 8.2 中所示的反应时增加反映的是序列加工阶段。如果用同样的任务来记录脑部头皮的高密集电流信号，我们就可能发现各个阶段脑区激活的位置和时程。

（三）心理活动的顺序

在行为过程中，事件相关电位所记录的结果表明，在任务的不同阶段会激活不同的脑区，这些脑区与预期在脑功能性解剖结构上产生反应密切相关。在刺激呈现后 150 毫秒，枕叶的脑电记录与编码阶段具有相关性。数字单词在左侧枕叶有更强的激活，这和视觉词形区所产生的反应是一致的。这种效应和阿拉伯数字所引起的双侧脑区激活形成了鲜明对照。

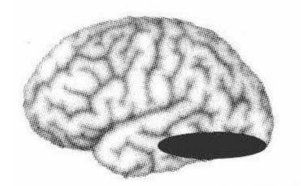
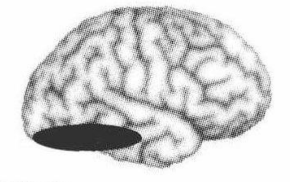
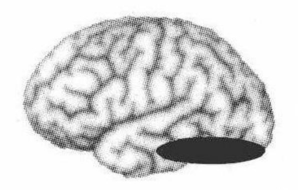
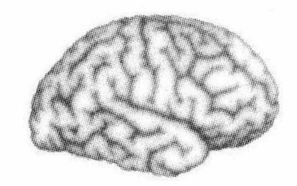
178

距离效应（与 5 的距离）出现在 200 毫秒之后，而且在右侧顶叶有最强的激活，而在左侧顶叶仅有少量激活。在过去的脑损伤研究中，这一区域被认为是用来储存数字量化信息的，这一发现陆续被后来的功能磁共振研究所证实，这些研究能够进行更精确的定位（Pine et al.，2001）。

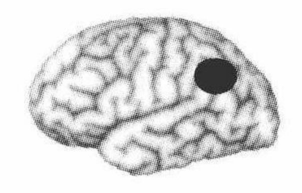
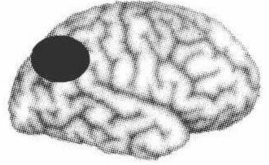
被试反应的时候用右手还是左手，也会在与所用手相反的一侧脑区的运动皮层上产生电极信号反应。被试偶尔会犯错误。当他们犯错误后 70 毫秒时，在前额叶区会产生负激活。就如我们之前提到过的，这个激活来自前扣带回，说明侦查错误的时候需要高度注意。图 8.3 显示了任务的不同阶段激活脑区的位置和时间。

这些发现说明如何应用加因素法来检测具有序列加工特点的高级思维的激活，例如将输入的数字与已经存储数量联系起来。我们并不是说所有的任务（即使是心算）都存在序列加工阶段。很清楚，在比较数字 4 和 6 的物理大小的时候，同时也会平行地激活数量的大小。如果数字 6 的物理尺寸较小，这一激活就会对被试说出这一判断的结果造成干扰。脑总是倾向于平行（同时）地寻找多个熟悉节点。但是，如果能够设计出一个大部分由序列加工阶段构成

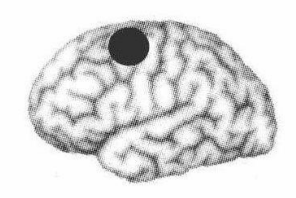
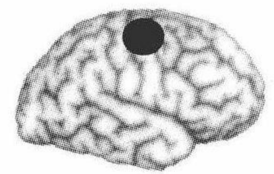
1. 视觉（150 毫秒）

2. 比较（190 毫秒）

3. 动作（330 毫秒）

4. 修正错误（470 毫秒）

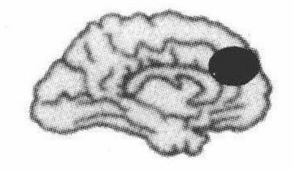


图 8.3　在功能磁共振和事件相关电位的研究中发现的数字比较任务所激活的脑区。1 表示不同视觉符号激活的脑区，2 表示比较语义距离效应所激活的脑区，3 表示动作位置所激活的脑区，4 表示修正错误所激活的脑区。摘自 *The Number Sense*（p. 224），by S. Dehaene，1997，New York：Oxford University Press. Copyright 1997 by S. Dehaene. 重印得到牛津大学出版有限公司的允许。

的任务，就像 Dehaene 所设计的任务，那么我们可以用多因素设计来发现任务过程中脑活动的不同方面。

这项研究的结果表明，在第 7 章中我们对阅读的研究结果亦可应用于简单的数学计算。在完成一个任务的过程中，对应于任务中所涉及的心理活动，可能会激活分布很广的几个区域。加因素法被应用于很多简单任务的研究中，这些简单任务的操作步骤都是按部就班的。通常在加因素法实验设计中所确认出来的认知阶段可能对应于与这些操作或运算有关的脑结构上的活动。所以，我们要认识到，如果一个数字任务的刺激输入是一个单词，就有可能激活与单词阅读相关的脑区。

在专业技能的操作过程中，脑不同的结构具有不同的功能。这一陈述的隐

含意义是，每当专业技能需要某个特定的认知任务成分时，负责这一运算的脑区便会相应地被激活。这种认知操作的功能定位似乎是专业技能的共同属性。比如说，在读、听以及为图片命名的时候，负责语义的相关脑区会被激活。同样地，言语工作记忆参与了很多工作过程，比如储存书面词语、用语言描述一个位置或者在做运用语言描述策略的任务时。在一个词语储存的工作记忆任务中（Schumacher et al.，1996），无论这些词是以听觉或视觉的方式呈现，负责言语短时记忆的相同区域都被激活（例如，布鲁卡区和后顶叶区域）。这些研究结果很明显地提示我们，无论何时需应用技能学习中的成分操作进行计算，这些成分都依赖于相同的神经区域。

180

三、心理数轴的发展

在研究儿童数字发展的能力时，所用的任务和之前报告的对成人所用的相同：让他们决定目标数字是大于或是小于 5（Temple & Posner，1998）。在比较数字语义大小任务中，5 岁儿童和成人激活的基本脑区是相同的，但是反应时长了三倍（图 8.4）。

181

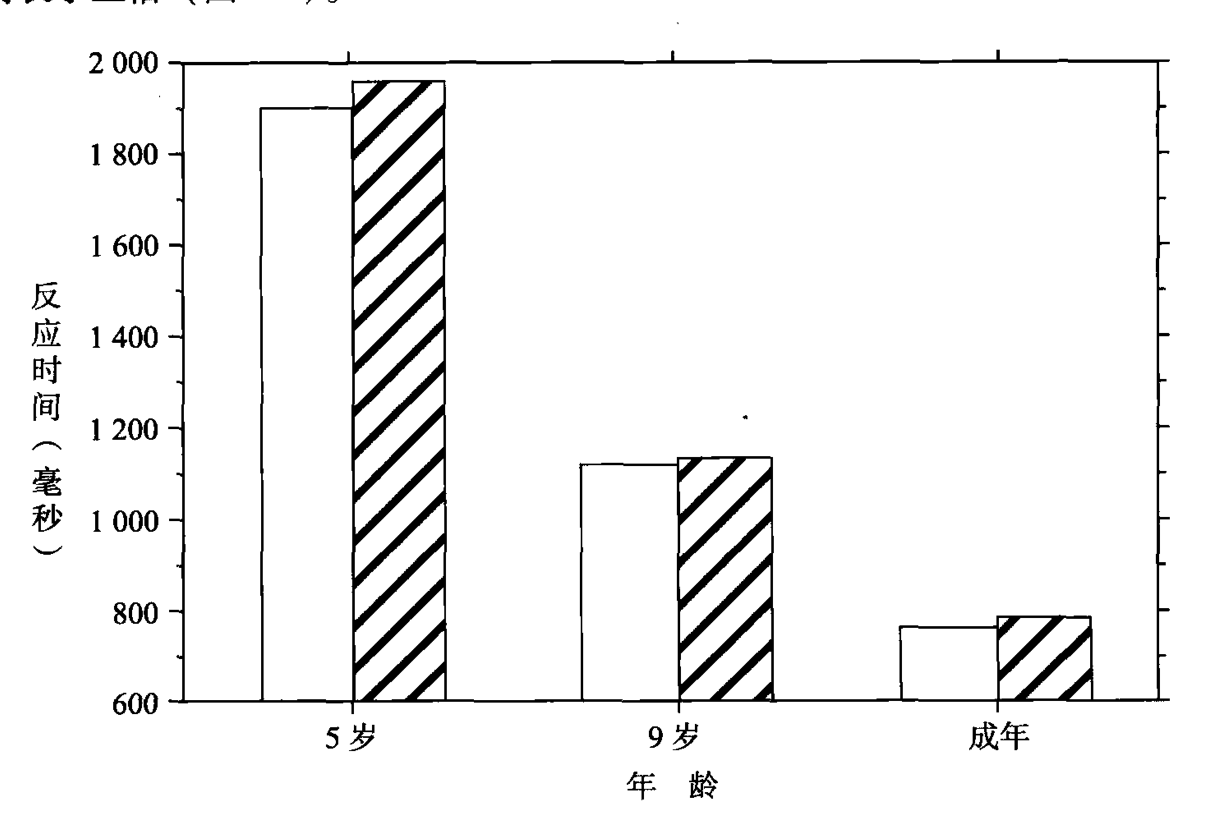


图 8.4　数字比较的发展。此图表现了儿童在不同年龄阶段做点阵（条形柱）或是数字（白色柱）比较任务时候的反应时（Temple & Posner，1998）。

（一）儿童的脑区定位

那么，5 岁儿童是否表现出和成人相同的功能定位？有一项研究用了 128 导的事件相关电位来记录数字比较任务时 5 岁儿童和成人的脑区活动，并同时比较了距离效应所带来的事件相关电位的差异。任务中同时采用了点阵和阿拉伯数字的呈现方式，来检测数量大小的知觉表征（前者）和象征性表征（后者）是否会影响距离效应的定位或时间进程。两组被试在做接近数字 5 的数字时反应时都相对较长（成人平均时长 519，儿童为 1 665），而做离数字 5 的语义距离较远的数字时反应时相对较短（成人平均 480，儿童 1495；见图 8.4；Temple & Posner，1998）。

在研究者选择的 6 对电极中，均出现了显著的距离效应，所选脑区的波形成分也和 Dehaene（1996）之前报告的成人的相似。在不同的年龄组中，和行为上的距离效应相关的脑区是相同的。

Dehaene（1996）用 64 导的事件相关电位记录了大脑头皮的电压，报告了同距离效应相关的阿拉伯数字和语言数字在刺激呈现后 174—230 毫秒时顶—枕—颞区（略靠右侧）的电压差异。Dehaene 由此认为，距离效应说明数学能力中数量比较的特异性。负责这部分数量比较任务的脑区，也相应地参与了对数量大小的抽象表征，或者数字比较任务。对于儿童的这项研究重复证实了 Dehaene 对于在数字比较时电压的差异，以及在目标呈现后距离效应出现的时间差异。

就与距离效应相关的脑区位置和波形成分而言，5 岁儿童和成人的脑活动的总体结构极为相似。尽管儿童的反应时是成人的 3 倍（儿童 1600 毫秒 vs. 成人 500 毫秒），但在用于观察距离效应的波形主成分上，同成人相比，儿童仅有细微的延迟。儿童出现的第一个事件相关电位的正高峰（P1）是在目标呈现后的 124 毫秒，仅仅比成人迟 26 毫秒；第一个电波负高峰（N1）出现在目标出现后的 212 毫秒，比成人迟 42 毫秒。越是靠前部脑区的波形相对越滞后一些。对于两种呈现形式（点阵和数字），距离效应都很相似，5 岁儿童激活的脑区时空分布和成人的非常相似。这些发现说明快速估算所需要的系统在上学之前就已经开始发展了，而且和成人所用的系统是一样的。

182

在做点阵任务的时候，在同一个电极上同一个时间窗口，电极的电压会因为数字距离的大小而不同，与 Dehaene 的成人研究和本研究中的数字处理过程所观察到的一致。但在点阵情况中，电压的差异更大更显著，而且出现的时间

更早一些。但是在我们这个研究中只采用了四种易识别的点阵模式，成人和儿童却都应用了与数字比较相同的过程来比较点阵模式。这一发现说明，无论输入模式是什么，对数量的分析是类似的，这进一步支持在顶下区有一个参与抽象数量比较的系统。同之前的 Dehaene（1996）所作的事件相关电位研究结果相反的是，我们（Temple & Posner，1998）的结果表明参与的脑区是双侧的，而不是右侧化的。

成人的功能磁共振成像研究以及猴子的细胞记录研究结果（Piazza，Izard，Pinel，LeBihan & Dehaene，2004）都支持这样的结论：心理数轴激活的脑区是双侧顶叶，而且它和注意力以及空间能力高度相关。最近的功能磁共振成像研究产生了与之不一致的结果。一项研究表明（Ansari，Garcia，Lucas，Hamon & Dhital，2005）儿童在做简单数字任务的时候激活的是额叶而非顶叶，同时另一项研究发现（Cantlon，Brannon，Carter & Pelphrey，2006）4 岁儿童和成人激活的是同样的顶叶区域。尽管存在这样的可能性：心理数轴可能在儿童到成人发展阶段有所变化，但很可能是因为任务的总体难度比较大，所以儿童激活的是额叶区域。无论如何，关于心理数轴的发展问题，尤其是它和其他认知能力的关系还有待于进一步研究。

那么，到底是什么原因使 5 岁儿童的反应时间更长呢？一个很自然的行为原因是，5 岁儿童会花大约 1 秒的时间低头确认按键。相比成人而言，儿童似乎更难把数量运算同按任意键这个行为联系起来。我们由此推断对于把行为同内在的数量运算联结起来可能反映了：这个年龄的孩子在把内心思想用适当的自主行为表现出来这一能力上存在更大的困难，尤其是用脑后部处理信息的行为。这个理论同额叶成熟得较晚是一致的，但还需要进一步研究。

尽管在比较数字的时候，儿童和成人激活的脑区是否相同仍然不甚清楚，但是事件相关电位的研究数据显示，无论输入的形式是点阵、数字或是文字数字比较，脑的激活效应是相似的。这样的结果说明，心理数轴是在 5 岁之前不需要任何数学训练就已经发育成熟了。虽然 Piaget 在 20 世纪 50 年代提出学前儿童对数字缺少最基本的概念，但是如同本章讨论过的一样，确实存在证据表明儿童对于数量已有初级的概念，这些能力在很多动物身上中也有体现。

（二）训练

确实有过实证研究，对于社会经济地位较低、小学算术可能不及格的儿童

进行数字比较能力的培训（Griffin，Case & Siegler，1995）。有一个此类项目称为 Right start，就提供了很多练习，比如说棋盘游戏里要求儿童去决定要移动几块板块。这个理念是要在各种游戏中训练他们学习数量这个概念。研究表明这些学习确实让这些儿童在小学算术中不逊于那些接受更多父母辅导的高经济社会地位的儿童。

这些训练方法的成功可能是源于它们可以让儿童把信息输入和脑中已经存在的数字比较区联系起来。更广义地说，这些研究为进一步了解脑是如何在学习过程中重新组织以及评估学校教育中教学策略的有效性提供了工具。

由于在阅读中提取词形与数字比较的区域有很大的差别，这就进一步突出深入分析这些任务执行过程中神经回路的重要性。在阅读的研究中发现，视觉词形的发展过程相当长，在儿童 10 岁时，即使他们的阅读能力已经发展得非常好了，但是他们的视觉词形对脑的激活方式仍然不同于成人。尽管如此，Temple 和 Posner（1998）的研究表明，儿童早在 5 岁时，数字比较激活的脑区就同成人相同了。对于阅读和数学的脑活动研究使得观察其他形式的学习过程中脑活动的发展也具有可能性，也同样可以发现哪种教育方式更为有效，这不仅可以运用于数学教学，而且还可以应用于听力、阅读和其他认知能力的学习上。

（三）做算术题

我们在第 7 章（本书）的目标是要超越单个字词的识别过程去研究自然环境下的阅读理解能力，本章同样旨在超越对数量概念的认识去研究算术学习能力。做数学题的时候，人们需要对数据进行运算。虽然婴儿具备对较小数字进行加减的最基本能力，算术运算的正式使用显然还需要其他两种关键能力的发展：第一个是语言的发展，或者说脑的语言相关区域的发展，第二个是习得相关技能，这个通常是通过教学习得的。

1. 语言区的参与

有一个重要的研究把实践相关电位和功能磁共振成像的方法结合起来，发现了复杂数学能力中语言区域的参与（Dehaene，Spelke，Pinel，Stanescu & Tsivkin，1999）。这项研究是要求被试说出呈现的加法结果是完全正确的或是大约正确的。

表 8.5 中给出了这两种类型的问题的示例。在精确加法运算的条件下，一

个答案选项是完全正确的，另一个答案很相近但是错误的。在估算的情况下，一个答案选项是很相近的，另一个与正确答案差得很远。Dehaen et al.（1999）认为，在作估算的时候，运用心理数轴就足以得出答案了，而精确运算则需要进行仔细的计算，这就可能涉及其他系统。支持这个理论的证据是，估算过程中产生的脑激活主要在双侧顶叶，同时另外还有其他一些和空间视觉化相关的区域被激活，而双侧顶叶在心理数轴中起了重要的作用。当要精确计算的时候，左侧和语言相关的工作区（在第7章中提到的）被激活了。这些数据表明，对于成人来讲，如果数学任务难度加大，语言部分就会参与运算过程。一项功能磁共振成像研究进一步为此提供了证据：这项研究中把数量比较任务同乘法任务相比较。脑区域包含与心理数轴相关的顶叶区域，以及同注意力相关的前扣带回都被激活了。比较任务主要激活了右侧半球，而乘法主要激活了同语言能力相关的左侧半球（Chochon，Cohen，van de Moortele & Dehaene，1999）。

2. 计数

一般来讲，儿童在两岁左右开始学习基本的计数能力，这大约与他们语言的快速发展发生在同一时期。通常在学前这种能力就已经发展得非常好了。有趣的是，把数字系统建立于逻辑组织上（比如说十进制系统）的语言会加速儿童计数能力的发展。在某种程度上，运用较短的数字命名可以为数字提供更大的工作记忆容量。

人类最早的有关加法和减法的能力出现在婴儿几个月大的时候。如果出现物体的数量多少跟他们期望的不同，他们会对这些物体注视更长时间，表情也更惊讶。比如说，实验中他们看到一个小玩具放在一个屏幕后面，然后让他们看见又放进了一个玩具。当屏幕拿开后，如果结果不正确（出现了1个或者是3个玩具），与出现两个玩具相比，他们注视的时间会更长，而且表现得更加惊讶（Wynn，1992）。早前研究者将这一结果解释为他们发现了错误，因为婴儿原来是期待出现两个玩具。但是这一观点现在受到其他观点的质疑。正如第三章中报告的，Berger，Tzur 和 Posner（待发表）重复了相同的实验，同时记录了128导电极的脑电图。他们发现婴儿的脑同成人一样，当答案是错误的时候，他们在额叶区显示出显著增强的负波。由于婴儿和成人的反应相似，又由于我们已知成人的这一脑区参与自我调控的过程，因此，这个证据说明，同成人相同，婴儿的反应是源于预期的违反。

3. 最小策略

数字运用能力的显著性发展出现的时间要晚很多，通常出现在拥有语言能力之后。就如我们在有关儿童学习控制行为的研究中所提到过的（见本书第四章），在做数学运算的时候，往往会运用身体策略。5 岁儿童往往在正规教育的过程中形成一些策略（Siegler，1996）。如果让他们计算 5+2，儿童可能会伸出手指从 0 开始数到 7。有时候他们把手指都伸出来，不做外显的计数行为就能把相加的和报出来。有时候他们是猜的。但猜测可能更直接地运用了心理数轴，就像图 8.5 所表示的估算情况一样。另一个更常用的策略是把大数作为被加数，把小数加到大数上（小数策略）。在运用这个策略的时候，运算所需要的时间与小数的数量大小之间有很强的相关。但如果儿童是直接提取正确答案，而不是明显的计算的时候，这两者之间的相关性就大大减弱（Siegler，1996）。

184

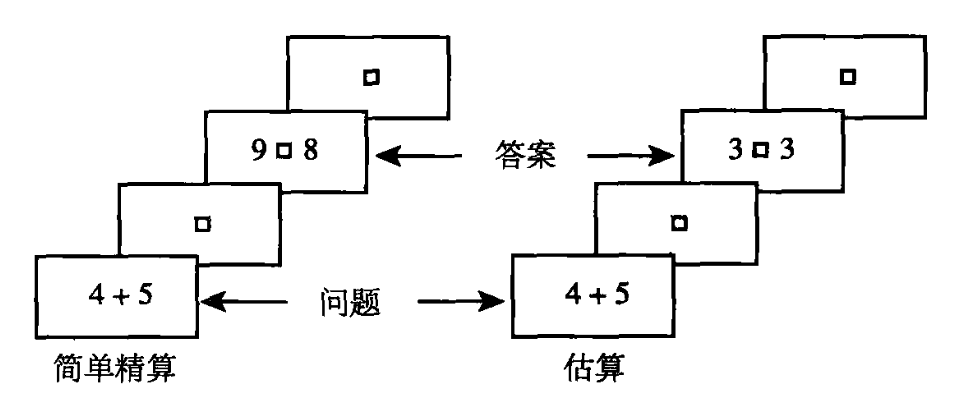


图 8.5 简单精算（左）和估算（右）任务的示例。小方块的功能是目标定位。摘自 "Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain - Imaging Evidence" by S. Dehaene, E. Spelke, P. Pinel, R. Stanescu, and S. Tsivkin, 1999, Science, 284, p. 970. Copyright 1999 by the American Association for the Advancement of Science. 经允许重印。

186

部分成人在简单运算中所运用的是直接提取策略而并不是真正去计算，即使是这部分人，他们在判断 5+4=9 是否正确所需要的反应时也比 5+2=7 要长，尽管大家对这两个算式的熟悉程度是相当的。这就是说，成人在处理这类问题的时候，也存在一个同儿童小数策略类似的系统（Groen & Parkman，1972）。这一高度序列化的结果伴随着平行加工的成分。如果对比 4+3=12 和 4+3=13（Winkelamn & Schmidt，1974），人们作出前者是错误的这个判断所用的时间更长，出现这种现象的原因可能是因为 3×4=12 是正确。尽管这实际上和当前的任务并没有关系，但是脑对熟悉的答案会产生激活。

（四）对提高数字教育的启示

尽管人类的数学能力具有坚实的生理基础，如何创造性地把这些天生的理解能力运用于正规的算术运算仍然是个长期的过程。至少一些学生在上小学之前要反复练习他们对数量的概念理解。Rightstart 学习方案就是通过游戏的形式让儿童把每个数字和对应的数量联系起来。

四、小结

本章中我们讨论了有关数字能力习得的信息。我们的基本方法是运用模型任务让被试比较目标数字是大于还是小于 5。这一模型任务表明，成人在判断过程中会激活与该认知活动有关的神经网络，5 岁儿童的激活模式和成人相似，但是他们完成任务所需要的时间更长。这可能反映了儿童需要更多的时间来让信息从脑的后部传递到脑的前部以作出反应。成人以及经过几千次训练的猴子能够对数量信息进行自动的加工，但是有些儿童却在数量信息的自动加工方面存在困难。

187

小学数学学习中的成绩取决于对数量概念的理解，就像阅读能力依赖于对口语结构的认识（见第 7 章中的语音意识部分）。就如我们探讨的 Rightstart 学习方案一样，我们必须教会儿童理解数量概念。有些儿童 5 岁就出现了心理数轴这个概念，而有些儿童则没有这个概念，或者不能自动运用心理数轴这个概念。存在数学学习困难风险的儿童和没有接受过数量理解训练的儿童，在各种数学任务中的成绩都没有那些接受过训练的儿童成绩好。对这些在数学学习中可能出现问题的儿童进行专门的数量运用的培训，会提高他们在学校的成功率。

189

第九章

专 长

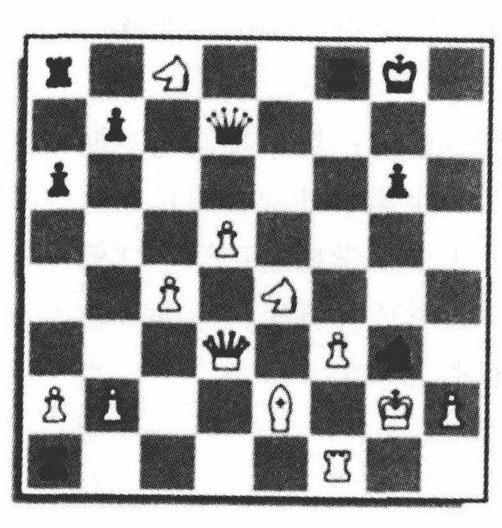
阅读和算术只是儿童在学校必须获得的许多技能中的两项而已。研究各领域技能获得的更为普遍的途径就是研究“专长的获得”（Chi，Glaser & Farr，1988；Ericsson & Smith，1991）。识字和计算能力这两个领域中拥有众多的专家，而在专长的认知研究中，一个基本原则是，专家与新手的不同，在于他们所感兴趣的领域信息在记忆中的储存方式存在着差异。

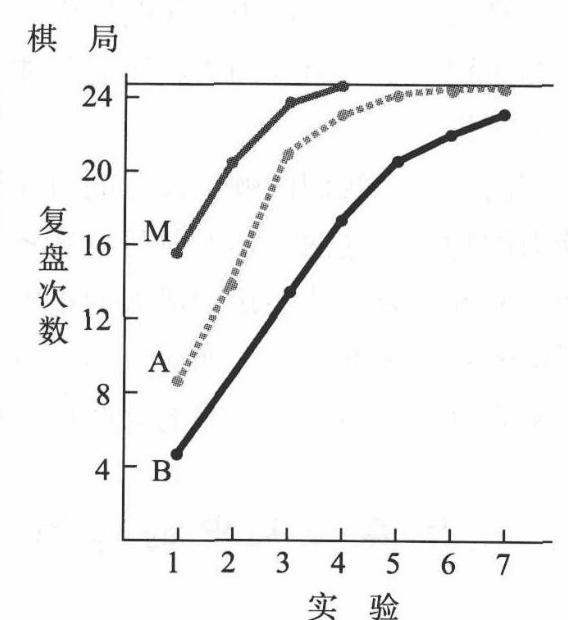
专长取决于快速地、自动化地获取存储于记忆中的材料的能力。在一些情形下，例如听外语或阅读技术材料时，这些自动化提取的程序可能失败，这使得人们意识到他们是多么依赖于这些技能。研究者要求专家对他们所做的事情进行解释，或者在运用技能的时候进行口头报告，以此来研究专家的表现（Ericsson & Smith，1991）。但是专长还包括了专家自己所觉察不到的、因而无法进行报告的内部活动。例如，在句子理解中，歧义词的多重意义可能在意识水平之下被激活，之后被语境所抑制（Gernsbacher & Robertson，1995）。因此专家阅读者的技能很大程度上取决于他们对当前语境中不适用词义的抑制能力。正如我们在本书第七章所看到的，即使被试没有看到启动刺激，但它仍可能影响到目标的激活，使之产生偏差。

如本书第一章所述，专长领域的早期研究比较了象棋大师与一般棋手间的记忆（Chase & Simon，1973）。图 9.1 显示的是一场大师级比赛中棋子的布置。如果棋局按照真实棋赛有条理地摆放，象棋大师在迅速看一眼就可以记住棋盘上所有棋子的位置；而一般棋手只能记住 7 枚棋子的位置。造成这一差异的原因是，象棋大师能够从分散的棋子中整理出一个有意义的整体。如果棋子是随机放置的，那么象棋大师的成绩就与一般棋手一样差。Herbert Simon 经计

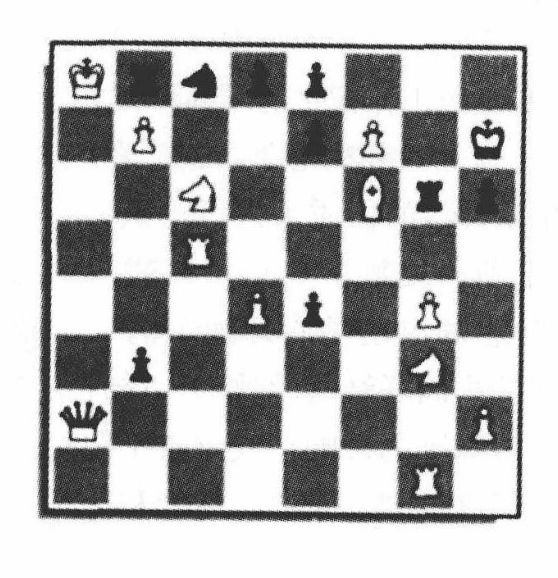
算得出，要达到象棋大师的状态，可能需要50 000个小时的练习。

190









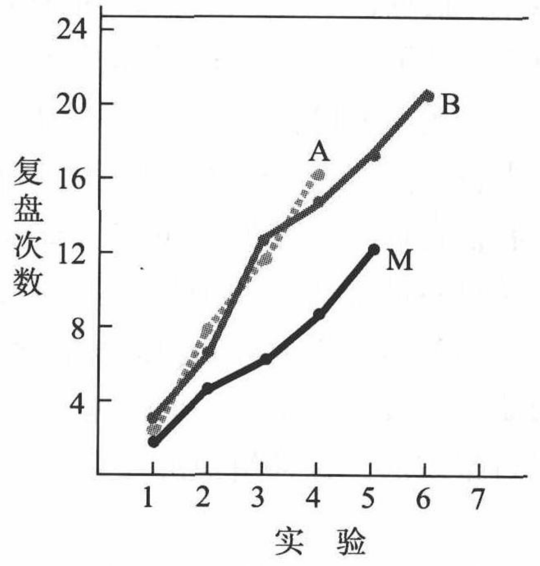


图9.1　象棋专家与初学者的学习成绩。左上角是一场大师级棋赛，其下方是用同等数量的棋子所摆的随机棋局。右侧显示的是对棋局的复盘结果。大师（M）对真实棋赛的成绩远远优于其他人，但对于随机棋赛的成绩则并不比好棋手（A和B）更好。摘自"Perception of Chess" by W. G. Chase and H. A. Simon，1973，Cognitive Psychology，4，p. 60. Copyright 1973 Elsevier. 经允许重印。

191

当然，能够成为象棋大师的人并不多，但很多人确实在识字和计算方面获得了高水平的技能。识字的人对母语词语的视觉再认就已经达到了专家的水平；我们能够理解以母语进行的快速谈话也正是专长的表现。言语看似是被分

解为单个的词语，但实际上不仅在词语之间，而且在词语之内都存在着许多停顿。不管在说话或阅读中，我们凭借高水平的语言知识对此加以处理，以进行词语的辨别。字母组成词语，比起单独出现的字母，阅读者能够更好地再认词语中的字母。

在前两章，我们回顾了读写能力和计算能力；对于我们这一拥有语言和数字能力的物种，这两个学习科目有其坚实的生物学基础。但是，这些技能仍然需要长时间的教学才能达到成人的水平。人们在学校通过学习新概念和思想可以了解各个知识的领域，如历史学、自然科学或计算机科学等。在本章中，我们将侧重这一学习形式所需的某些记忆和概念系统。

一、记忆在专长中的作用

当我们从语义记忆中提取信息时，由于信息在工作记忆中进行暂时的表征，因此能够被有意识地觉察到。工作记忆被认为是一个缓冲系统，用以暂时性地保存信息，以便于信息与其他材料发生联结。在本章中，我们首先从脑成像研究的结果来考察工作记忆的结构，并考虑工作记忆的不同形式之间是如何协作的。接下来我们将阐述信息的提取过程，并考察儿童是如何学会以外显的形式来表征信息的。记忆系统是以所存储材料的性质来进行组织的；也就是说，我们提取某一领域的事实（如关于动物或数字等）可以暂时地提高激活相关材料的能力。如前所述，相关联想的启动是心理加工的一个重要特征。启动是由语义内容相似的材料之间的牢固联结所导致的。这种语义映射的形式对于我们一生中如何使用记忆有着深刻的影响。我们将了解记忆是如何进行组织的，这种组织形式又是如何促进推理、表象、概念和其他思维过程的。

192

工作记忆和注意的关系非常密切。事实上，执行注意是工作记忆的一个关键组成部分。新近注意到的项目往往会保持在一种激活状态，称之为工作记忆的激活状态。执行注意网络控制着工作记忆中的重组和复述。

（一）输入编码

记忆中最广为人知的事实是，在单次呈现（记忆广度）之后能够保持的记忆项目数限于 7 个左右。另一个事实是，记忆广度在儿童期一直扩大。虽然这些事实都是正确的，但它们很容易引起误解。正如本书第 1 章所描述的，有

项研究对卡内基·梅隆大学的学生进行了10个月的培训，结果他们的数字广度从通常的7个项目扩展到了近100个项目（Ericsson & Chase，1982）。他们学习特殊的编码规则，这些规则将输入的数字和特殊的田径事件联结起来，因此每三或四个数字都有相应的独特编码。学生对这些分数形成一套层级结构之后，就可以达到这种不同寻常的记忆广度。当学生已经能够报告100位数之后，如果将刺激换成字母，由于字母与他们用以助记的跑步计时无关，他们的数字广度就重新降到7。因此他们所学到的是一种数字组块法，而非扩展记忆的一般化方法。类似地，儿童期记忆的显著发展很大程度是由于儿童对用以测验的字母、数字和其他材料的熟悉性提高所产生的（Chi，1978）。

神经成像研究的数据为我们了解工作记忆的神经基础提供了丰富的资料库。此类研究相当部分采用正电子发射断层扫描法和功能磁共振成像法（fMRI），要求成年人记住言语材料、非言语物体或者空间位置（Smith，Jonides，Marshuetz & Koeppe，1998）。对单独字母和数字的记忆系统的研究受到了广泛的关注。这一重视是恰当的，因为成年人最为普遍发展的记忆策略就是将输入信息重新编码为言语形式。几乎从婴儿出生开始，在交流过程中，父母就会教孩子如何将周围的事件重新以言语形式进行编码。

关于短时言语记忆的研究表明，左半球额叶和顶叶有强烈的脑区激活。如果只要求被试在项目呈现时对之进行复述，但无须记住项目，此时额区仍有激活，但靠后侧区域的活动就减弱了。这一结果说明，对信息的复述会涉及传统的布鲁卡区及其周边的额区（Awh & Jonides，2001）。在本书第7章（图7.2）中，研究表明额区涉及发音编码；而言语和阅读涉及了同一神经机制，这一机制也用于解释工作记忆。有研究发现，发音中所包含的音节数量是工作记忆可以存储多少材料的重要根据之一，上述研究发现与这一结果非常吻合。

193

在不同的工作记忆形式中，与言语系统对比最强烈的就是对空间位置的记忆。位置对记忆而言非常重要，即使在言语性材料中也是如此。事实上，当需要记住一系列的词语时，一种常用的方法就是将每一个记忆项目与特定的地点联系起来（地点助记法）。地点助记法之所以有助于提高记忆，大概是由于在我们物种进化中，从一个地方找到另一个地方的能力一直很重要。当个体必须准确地记住一个小点的位置，右半球通常会有更强的激活。在言语记忆中，不管额叶还是后侧区域都有激活；但是，对空间位置的复现主要涉及后部顶叶（Awh & Jonides，2001），而存储则主要涉及额区。

（二）工作记忆的成分

言语材料的复述机制位于额叶，而空间位置的再现却涉及顶叶（靠后），这一点看起来有点奇怪。这一现象可能阐述了一条更为普遍的原则，即复述记忆材料的方法自然地建立在已知的输出系统之上。就言语材料而言，布鲁卡区涉及语言的输出及内部语言的复述；就位置记忆而言，对位置的再现和对外部物体的定向都涉及位于顶叶的同一系统。由于语言系统是偏左侧的，而空间注意通常是偏右侧（第3章），这两种工作记忆相反的偏侧化趋向对于维持两者的分离也很重要。

语言和空间工作记忆系统在某种程度上可能有所重合，许多任务同时依赖于两种记忆形式，因此双方的脑区都会被激活。很少有证据来支持视觉物体的工作记忆间存在着精确的分离。这可能是由于我们频繁地将物体重新以语言的形式进行编码，使得视觉系统之外还增加了语言工作记忆系统。

194 早期认知心理学把工作记忆看作是信息加工和信息存储的单独系统，是作为感觉输入和长时记忆之间的通道（Atkinson & Shiffrin，1968）。但这种将工作记忆视为单独系统和通道的观点受到了挑战：不仅工作记忆受损的病人在长时记忆功能上正常（Shallice & Warrington，1970），而且也与双任务实验的结果不符（Baddeley & Hitch，1974）。Baddeley 和 Hitch（1974）最先提出了工作记忆的多成分观点。这一模型是由三个成分组成的：中央执行系统等同于我们所谓的执行注意，在语音环路和视空板这两个子系统之间起协调作用。语音环路保持、控制语言信息，由被动的语音存储结构和发音复述过程所组成；视空板则处理视觉和空间信息。这一观点得到了脑成像研究结果的极大支持。

正如我们前面指出的，有研究证明，工作记忆中处理语言和视觉信息的脑区存在分离；一些认知研究（Sanders & Schroots，1968）也表明，对于字母和位置混合的记忆广度接近于两者相加。这一结论与神经成像研究中发现的语言复述和空间再现之间存在着分离的观点是一致的。

来自神经和认知方面的证据都表明，工作记忆中言语和空间信息存在着分离。这些系统间存在的是功能性分离吗？若要验证这一看法，研究者必须证实材料的存储和提取只在一个区域内（如言语或空间）；或者同时在这两个区域内，但反应的时候并不会相互干扰。在记忆广度研究中，若使用完全报告法，用以提取的运动系统间会产生输出干扰问题。

在我们的实验室中（Heidrich，1990），测试视觉和语言活动功能性分离的

方法之一，是要求被试在脑中保留的两个或四个位置或数字中检测某一项目有无出现，测量被试回答所需的时间。在单一组块设计中，实验项属于同一类（或者位置，或者数字）；而混合组块设计中，有两对或四对实验项目，每对项目都由位置和数字共同组成。如果材料的提取和存储是完全独立的，那么，我们就可以预期混合组块中的斜率应当和单一组块的设计完全一样。但如果语言和空间信息是存储在同一个地方，或两者在提取时会有相互作用，我们可以预期斜率会变高。结果显示，混合组块的斜率并没有显著高于单纯组块。无论是位置还是字母，单一和混合组块之间都没有表现出斜率的增加，这说明两类材料的储存是分离的，对测试的刺激适当地进行分类后，就只需测试其中之一即可。

（三）编码的个体差异

有些刺激可以就其视觉表征或者字母命名进行编码。有证据表明，对此类刺激的处理上存在着个体差异。每一个体都可以通过努力控制对两类编码形式加以使用。根据特定的指导语或情境，个体可以将一个词语或一张图画以语言的形式进行编码，或者将字母保持在视觉表象水平。脑成像研究说明，注意字母命名所激活的脑区与负责语言信息储存和复述的脑区相关；而注意字母的字形时则激活视觉区。看来合理的做法是让儿童同时拥有两种编码方式，但是美国学校更强调对视觉输入的语言编码（Posner & Raichle，1994）。

人们在执行此类工作记忆任务的能力上存在着巨大的个体差异。工作记忆容量是智力的组成成分，工作记忆测验成绩与一般智力测验分数相关。关于空间工作记忆的研究（Vogel & Machizawa，2004）发现，若记录下空间信息的编码和提取过程中的偏侧化脑电活动，可作为相对纯净的个体差异的测验指标。实验者同时向被试的两侧视野呈现信息，但只要求对来自一侧视野的信息进行储存和报告。对视野中的元素数量进行系统性地变化，脑一侧的脑电活动波幅也会随着元素数量的增加而增高，直至达到个体工作记忆容量的极点（表9.2）。对工作记忆容量进行的电生理学测量，不仅增强了与相关神经网络机制的联系，并且使我们有机会探明造成个体差异的基因。由于空间工作记忆取决于与注意定向网络相关的复述机制，因此和这一神经网络相关的基因（第5章）很可能是原因所在。

（四）内隐记忆

记忆广度为何随着年龄的增长而扩展？一个可能的理由是，对所使用材料

（字母、数字、词语）的熟悉程度开始增加，因此对材料的编码和提取就变得相对容易。我们对习得这类信息的方式印象不深，因为信息是在听和读的过程中内隐地获得的。

记忆研究（Schacter，1987；Squire，1992）确定了学习简单事件时两种完全不同的形式。内隐学习发生于接触某一项目的过程中，并改变此后对相关刺激的编码。我们认为，这种学习形式可用以习得位置序列，而这是婴儿在4个月时就能够习得的（第3章）。动作学习（例如，系自己的鞋带或骑车）似乎有赖于这一学习形式。但是，每一类型的记忆很可能都有内隐的成分。外显学习是通过对项目积极有意的注意而实现的，并且让被试在各种情境下都可以对所存储的信息进行自主提取。

196

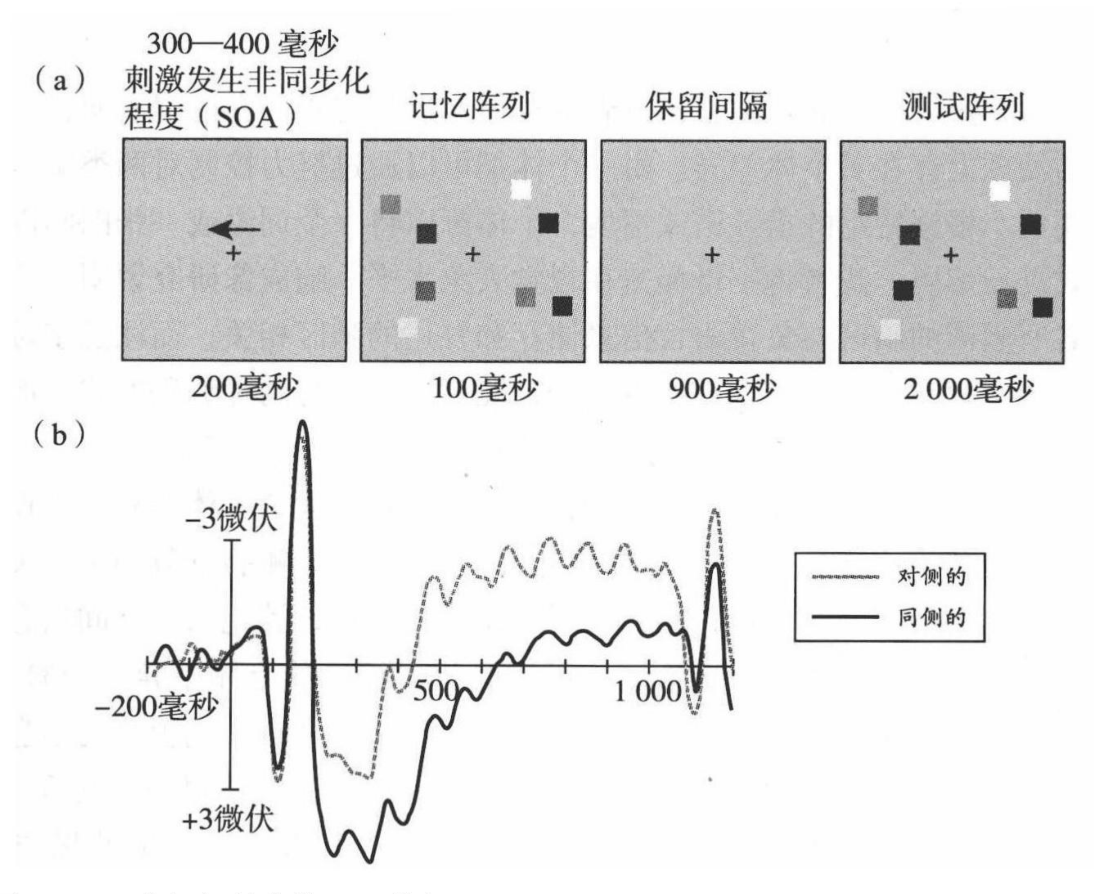


图9.2 工作记忆的个体差异的电位表现。图（a）是一个工作记忆任务的图解说明，人们要尽量多地报告出箭头所指的阵列中的项目。阵列的大小随实验序列而变。图（b）显示了两个半球的事件相关电位。报告阵列的对侧半球表现出更多的活动，而这一个半球活动的数量与个体的工作记忆广度的大小相关。SOA＝刺激发生非同步化程度（一个刺激与下一个刺激出现的时间间隔）。摘自“Neural Activity Predicts Individual Differences in Visul Working Memory Capacity” by E. K. Vogel and M. G. Machizawa，2004，Nature，428，p. 748. Copyright 2004 by Macmillan Publishers Ltd.. 经允许重印。

脑成像研究已经确定出与这些学习形式相关的重要脑结构（Buckner et al.，1995；Squire et al.，1992）。这些研究通常采用线索回忆的形式。首先向被试呈现一系列词语，之后要求他们对三个字母构成的词干进行反应（词干补全，stem completion）。如果指导语要求被试说出进入脑海的第一个以该词干开头的词语，就是以内隐形式进行词干补全；如果要求被试想出之前词表中的词语，则是外显形式。在内隐产生过程中，相对于必须以新词串进行补全的词语而言，在之前出现过的词语补全的条件下，右后侧视觉系统一个脑区的血流量似乎减少。有研究以听觉形式呈现原始词表，发现在听觉系统中，对于之前呈现过的项目血流量也会发生类似的改变。当要求以外显形式补全时，则在额叶和海马区都观察到了激活。

197

脑成像研究中令人好奇的一个结果是，当词语是视觉呈现时，启动可以减少右后侧视觉区域的激活。这个脑区通常是与视觉信息的内隐存储相联系的。如果这一区域的神经元活动较弱，就可以说明在这一范式中，词干线索以更高的效率激活了所学词语的记忆痕迹：重新激活旧词的视觉编码所需要的神经元活动减少了，因此可以说明效率的提高。但是，由于脑成像研究并没有提供已发生变化的神经元活动的时间进程，因此血流量减少也可能仅仅意味着：如果一个词语是之前见过的，那么只需要较少的注意和努力就可对相应的词干线索作出反应。对于启动词的视觉编码的注意资源分配较少，也会导致比非启动词更少的血流量。换言之，右后侧区域的激活减少，可能是在刺激输入时自动发生的，或者是之后注意资源的不同而造成的。

若要对这些可能性进行研究，方法之一即是头皮脑电记录（Badgaigan & Posner，1997）。Badgaigan 和 Posner（1997）的研究结果表明，在这一范式中，词干线索呈现后 100 毫秒时启动词和非启动词之间就开始出现差异。在反应之前的最后几百毫秒中并没有发现启动词与非启动词存在差异；如果差异是由于被试积极加工输入的词串所带来，其预期就与这一结果不符。这一研究的另一重要结果是，无论指导语是什么，都发现了右脑后侧区域血流量的减少。从这点来看，无论让被试以何种方式作反应，词语对于之后呈现的词干所产生的影响是自动化的。可见新习得信息能对早期视觉系统进行修正，这可能是本书第 7 章所涉及的视觉词形系统的发展基础。

Badgaigan 和 Posner（1997）的其他研究结果表明，与启动指导语相比，若要求被试根据之前词表进行有意回忆，两者的差异主要发生在与语义加工相关的额区，以及与回忆之前习得事件相关的海马（图 9.3）。当被试所接受的是内隐指导语，并且词语是之前呈现过的，那么就不会出现额区或海马的激

活。这些脑区看来是与搜索之前词表或者确定相关词语所付出的意志努力相关。

198

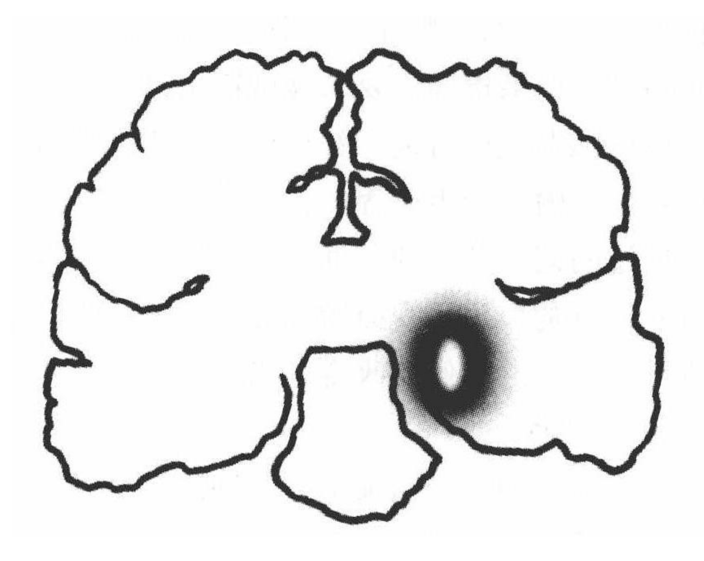


图9.3　一项记忆任务中海马的激活。当要求外显地报告记忆中的项目时，就会伴随海马的激活，如上图椭圆形所示（Buckner et al.，1995）。

这些实验使用的材料虽然是词语，但有明确的证据表明，任何类型的信息都可以被内隐地习得。内隐记忆没有任何与之对应的特定的神经网络；相反，编码信息的脑区被改变，因此表征可以提供更高效的激活。我们认为，脑的所有部分都有编码信息的能力，并且在经验的基础上改变它们的特性。因此，内隐学习是人类所有经验领域的脑神经网络机制的一种属性。

（五）外显记忆

儿童是如何开始发展可随意提取特定习得事件的记忆类型的？有大量证据证明，成年人无法以外显记忆的形式提取两岁前发生的事件；让成年人努力回忆童年期信息，通常在两岁左右就到达极限。

1. 神经结构

与有意回忆关系最为紧密的神经结构位于颞叶，包括海马内部及其周边区域（这一区域的激活成像见图9.3）。如果这些脑区受损，就会造成对信息外显回忆的遗忘。即便是多次接触到新信息，例如每天都与同一个人见面，这些病人仍无法回忆起脑损伤之后所习得的信息。中风所导致的遗忘症（经常涉及海马的损伤）下会出现非常令人惊异的现象：病人几乎无法有意地回忆项目，但却表现出对同一材料的内隐记忆。他们虽然否认自己记得，但在之前学

习的基础上仍然表现出很好的回忆成绩。这一明显的分离对于学校经验而言很重要。儿童常常习得没有外显知识的技能。所谓的直觉，很可能正是依赖于这些无意识的技能。当鼓励人们对不记得的内容进行猜测时，人们的回忆成绩可能远远高于随机水平。

研究者表示，当使用模仿法时，即使是婴儿和年幼儿童也能表现出外显记忆（Bauer, Wiebe, Carver, Waters & Nelson, 2003）。婴儿从一出生就表现出模仿能力，例如，在实验者吐舌之后，婴儿也会作出同样的动作（Meltzoff & Borton, 1979）。利用模仿，我们可以观察到婴儿早在 6 个月时就表现出外显记忆，因为他们似乎能够再现出之前向他们演示过的一系列动作。这一记忆的保持仅限于大约 24 小时之内，并且只能是一个项目。但是，有证据表明 9 个月大的婴儿可以保持多个项目达到一个月以上。到了 20 个月大时，这些项目可以保持一年以上，而这正是成年人能够提取语言记忆的年龄。

2. 与注意的关系

在本书第 3 章，我们已经演示了婴儿的眼球运动如何预测一个视觉刺激将要出现的位置。在 4 个月大时，这一过程确实受到限制，因为注意系统的发展还未成熟到可以解决这种相关背景所产生的冲突。当两岁大时，注意系统又进一步发展，此时背景信息可以发挥其影响了。这种学习形式可能仍然是内隐的，因为人们获得这一技能时无法对学习过程进行报告。他们知道下一个位置将是什么，但他们仍然无法在一般意义上了解他们所学的是什么。

在本书第 4 章，我们追踪了 2—4 岁儿童的较高层执行注意的发展情况，并借此了解了识字和算术的获得过程。我们也可以看到获得外显记忆的能力缓慢增长。研究者以重复序列向被试呈现一系列视觉事件，要求被试做按键反应，并记录反应时（Thomas & Nelson, 2001）。实验者要求被试以尽可能快的速度，按下刺激旁边的键来反应。将 4 岁、7 岁、10 岁儿童的反应与成年人进行比较（图 9.4）。在一种条件（内隐）下，只需要接触到序列就可以习得材料。在大部分情况中，儿童极少能对序列进行口头报告，也不能预测下一个事件出现的位置。此外，总体反应时显示，他们极少在刺激出现前作出反应，这就反驳了被试存在预期。所有年龄段的被试似乎都加工了刺激的位置，同时并不对之进行预期。然而，所有年龄组都有清楚的证据表明他们已经习得了序列。

4 岁年龄组的整体反应时比其他组慢得多，同时内隐条件下的成绩也略差；所有儿童犯的错误都比成年人多很多。这一研究同时还考察了外显条件。

在这一条件中，向被试示范一个序列，并明确地告知被试接下来会出现什么样的刺激及其性质。成年人的反应时下降到200毫秒左右，许多反应时说明被试很可能存在预期，也就是说，它们在事件呈现之前就已经被规划好了。但是，很多儿童却无法描述或想出序列。正如从图9.4中可以看出，4岁和7岁大的儿童并没有从外显信息中获益。

200

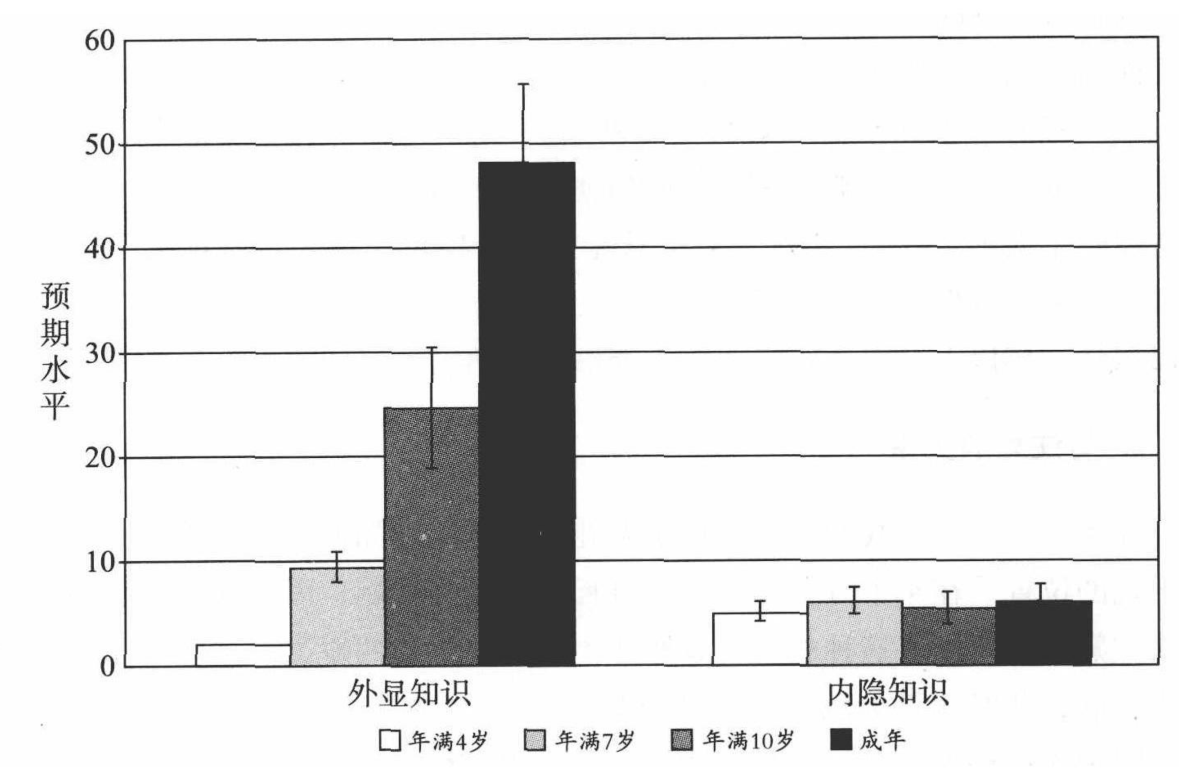


图9.4　序列学习技能的发展。对于规则序列，成年人比儿童产生更多的外显知识（由更高的预期水平而测得）。但是，成年人和儿童在同一序列内隐知识所导致的预期水平上却很相似。

问题也有可能出在儿童对指导语的学习和记忆过程，但我们认为，如果对一个神经系统中呈现概念的同时（本例中即是语言系统），还需将之传送到适当的脑系统加以执行，这对于这个年龄的儿童还是困难的。正如5岁儿童能够以心理数轴形式获得数量的概念，但却很难将信息传到运动系统一样。本研究中的4岁儿童也可能存在同样情况：他们可能从语言上了解序列信息，但却无法加以扩展引申，用以促进他们的反应。采用同样任务的成年人研究的结果表明，外显知识可能会呈现于一个系统中，但同时却不影响内隐系统中的反应。上述研究数据与这一结果是相符的。

201

对于教师而言，了解内隐与外显知识的差异是很重要的。有研究者尝试让患有遗忘症的成年人利用内隐知识来形成有意回忆，但一般都不成功。因此，如果要开发一些课程，让儿童将他们内隐获得的知识外显化，可能会很困难。

如果作练习时让儿童凭着感觉来选择他们认为正确的答案，可能会使儿童基于内隐知识作答。Rightstart 方案（Rightstart 是以凯斯为代表的新皮亚杰理论研究者在对儿童早期数字感知的课题研究过程中所提出的促进幼儿园儿童数字感知能力发展的方案。——译者注）和构词法方面的训练能够广泛地迁移到数字和阅读任务上，这一成功从某种程度上证明，即使是学前期的一些学习形式，也有助于儿童更有效地习得学校科目。

二、专家思维

人们凭借概念进行思考。这些概念可能并不精确，但它们可以让我们快速判断事物是否与我们之前经历过的相近。当要求我们确定某物是否是动物时，如果判断的对象是奶牛，我们会很快地回答“是”；但如果是鲑鱼，我们会过更长的时间才回答“是”。奶牛是典型的动物，因为它具备我们很熟悉的动物的许多特征，但鲑鱼与这些动物的共同特征就少得多。语义类的距离效应与我们在数字类中遇到的距离效应相似，很可能也具有相同的含义。正如数字是存储于心理数轴的比喻中，意义接近的项目在存储时也会更靠近，它们的关系与关联程度相关。当回忆一个类别时，我们并非回忆其所有组成成分，往往回忆的是这一类别的中心趋势或原型。

尽管对我们在学校已学过的“动物”类别下一个正式定义很容易，但记忆系统反映的仍然是更为直觉的组织方式；这一直觉的组织的建立，是基于外形相似性、共同元素以及其他共同的关系。启动实验为我们提供了很好的研究方法，让我们可以观察到当回想类别中的一个组成部分时，与之相关的那些项目被自动激活了。当然，我们也可以利用注意来克服或限制所激活项目的界限。在一个实验中（Neely，1997），研究者教被试在看到动物这一类别的名称时去回忆“身体部位”。在被试这么做之后，他们对诸如“手臂”和“手指”等靶项目的反应快于“狗”和“猫”等动物名词。但是，如果靶项目在启动项目之后马上出现，那么被试对“奶牛”的反应仍然很快，这说明动物类别被启动项自动激活了，但此后由于注意被导向了已经学会的联结，因此又被抑制了。

类别外部也存在着结构。有一些类别是基本类别，例如鸟、椅子或球等，因为它们的组成部分很相似，都由共同的部分组成，往往诱发出相同的反应（Rosch，Mervis，Gray，Johnsen & Boyes-Braem，1976）。上级类别的成员就具有相当不同的形态，例如动物、玩具或家具。除非是某方面的专家，否则次级类别的特征一般并没有被充分表征，如知更鸟（robin）、小猎狗（terrior）等。 202

对于非专家，基线类别是最易用的；但是狗类专家则会觉得，比起狗这一基线类别，区分不同种类的小猎狗会更容易（Tanaka & Taylor，1991）。

（一）专家与初学者

专家和初学者利用记忆的方式稍有不同。研究者对精通恐龙知识的儿童以及精通物理知识的成年人进行考察（Chi & Koeske，1983），发现他们记忆中概念的凝聚性高于常人。专家在思考过程中往往会利用事物间的联系，而初学者处理得更多的则是每个实例的表面特征。专家会使用“因为”、“如果”等表明关系的术语，而初学者往往罗列出很多特征。在一个以心理学专业学生为被试的研究中，研究者测量了被试提取著名心理学家名字的能力（Loftus & Fathi，1985）。能让更有经验的学生获益的线索，往往是心理学家所从事的研究的性质，或者他们作出贡献的领域（例如行为主义者、认知心理学家），而初学者则从名字首字母这一线索中受益最多。看来，依据学习内容的多寡不同，头脑中组织材料的方式也会不同。

（二）类别的机制

前文已经为我们了解类别的神经机制打下基础。有些类别是自然的，在发展过程的很早就会被加以利用。自然类别的一个例子就是面孔，面孔甚至可以影响刚出生婴儿的行为。研究者认为，在出生后的前几个月，对面孔的知觉主要依赖于皮层下结构，但有证据明确地显示，10 个月大的婴儿处理面孔的方式已经与成年人十分相似（Johnson & Morton，1991）。对于成年人，面孔激活了梭状回的后部，尤其是右侧，这一区域被标识为梭状回面孔识别区。这一脑区很可能在将面孔特征组织为一个整体的过程中起作用，以便可以通过前侧区域的加工来识别面孔。研究还发现了这一区域更为普遍的功能：其他类别的专家在加工他们擅长的材料（如，狗、猫或汽车）时，往往也会表现出这一区域的激活（Gautier，Tarr，Anderson，Skudlarsky & Gore，1999）。这一发现说明，在训练之后，原本与一个类别的识别相关的脑区功能是如何被其他类别所利用的。

203 视觉词形区（第 7 章）也同样如此。视觉词形区位于梭状回（主要在左侧）的一部分，它将看到的字母组织为一个整体。但有证据表明，在快速命名任务中，视觉物体也能激活这个区域。这些研究表明，特定脑区的认知加工

迁移到其他类型的信息之上的重要性。这种反应可塑性的惊人例子之一是，视觉系统也被用于布莱叶盲文字母的识别中（Pascual-Leone & Hamilton，2001）。尽管视觉系统具有针对视觉刺激的特异性，但在这种情况下，运用于语言的躯体感觉信息可以利用视觉机制。

一般而言，专长可能涉及脑后部区域的激活，这些区域能以高效的方式对输入的内容执行重要的操作。Tanaka 和 Curran（2001）的研究显示，狗类和鸟类专家在事件相关电位上的一个成分不同，这一电位与婴儿的面孔识别有关。事件相关电位的这个早期成分与狗类或鸟类专家对熟悉动物的识别有关，而初学者则没有这一现象。如果这是一个普遍的神经机制，那么这一原理就意味着可以通过学习发展出后侧脑区的组织，以便于极大地提高加工概念的效率。这一发现对于以专长为目标之一的教育领域具有重要的意义。

脑的加工区域的皮层组织大小可以反映出这类加工的经验。Merzenich 和 Jenkins（1995）研究了触摸手指所引起的感觉信息的皮层表征。他们首先绘出猴子躯体感觉系统中每个手指所对应的脑区；在之后的几个月，训练猴子用一个手指来进行精细辨别。在训练之后，与这一手指对应的皮层面积扩大了，这是以牺牲周围手指的皮层面积为代价的。

同样的结果也适用于钢琴家和小提琴家，他们对擅长乐器的精细活动所具有的感觉运动皮层表征区远远大于其他不太涉及领域的皮层表征区（Elbert，Pantev，Wienbruch，Rockstroh & Taub，1995）。在实验室研究中，只需要对某一特定序列的动作训练几个小时，就足以使这一序列所激活的皮层区扩大（Karni et al.，1998）。这一效果给人以深刻的印象，因为在许多情况下，一些表征实际上通过塑造相应的神经元而减少了血流量。这一启动效应迅速而普遍，在长期坚持不懈的练习后则会产生脑结构上的变化。

204

（三）语义映射

猿类和人类的这些学习结果为何重要？这是因为有证据表明，至少就词语和图片的识别而言，在大脑左半球的语义区域（图 7.2）存在着相关项目的一些映射。在一个功能磁共振成像实验中，在向被试展示工具、动物等图片时，不同的类别在额叶和后侧语义加工区域都有不同的激活（Spitzer et al.，1998）。现在仍不能完全确定不同类别的映射到底有多少，以及不同类别的映射图谱之间相似性有多大；但许多研究结果表明，脑损伤，尤其是颞叶左后侧的损伤会破坏识别特定物体类别的能力，同时其他类别的识别能力却保持完整。

尽管语义启动、脑损伤和神经成像数据都表明，语义区域是以共同特征进行映射的，然而研究者对其基本假设一直存在着疑问。但是，在视觉、听觉和运动系统中经常可以看到各种重要特征的映射，因此即使相关项目是被存储在语义网络的相邻区域内，也不让人感到太意外。但这种形式的存储是如何发生的？哪种形式的组织可以最好地促进高水平专长知识与技能的培养？要了解这些问题，还需要开展许多研究工作。

（四）经验与分类

字母和数字加工的研究或多或少直接给出了自然环境下训练的结果。我们知道对于大部分人来说，字母主要激活大脑左侧后部区域（见本书第7章），而阿拉伯数字则似乎有很强的双侧激活（第8章）。有研究直接比较了字母和数字，结果证明在左侧脑区中，字母所引起的激活远远高于数字（Polk & Farah，1998）。与美国邮政工作人员或其他群体相比，加拿大邮政工作者要处理大量由字母和数字混合而成的刺激（如AF7 3UX）。我们也许可以预期，由于拥有处理混合材料的经验，这两个基本类别所形成的脑区的相似性就会高于控制组被试（Polk et al.，2002）。结果显示，加拿大邮政工作人员在字母中找一个数字，或者在数字中找一个字母，比那些不经常处理字母数字混合材料的个体更容易。其中一种解释是，就字母和数字内部表征的混合程度而言，加拿大邮政工作人员要高于其他未接触混合信息的群体。但是，在一个大学生群体中发现了数字和字母间的分离。

205

当教师传授特定领域的知识时需要认识到的重要一点是，他们同时还塑造了脑在将来用以组织信息的方式。专长是以个人擅长领域的记忆系统的组织为基础的。而这一组织又是如何支持和引导我们的思维过程呢？在心理学最早期，心理学家已经认识到思维可以通过当前脑中的事物与记忆中存储的相关材料之间的联系来引导。正如呈现给感官的刺激会启动相关项目一样，头脑中保留的每一个项目都会启动相关的思维。上文介绍的那个研究说明了语义映射中材料的一种组织方式，因此一旦以特定的方式思考某一事物，若要换其他方式对之进行思考就更困难了。

另有一个需要记住的重要研究发现是，即使是感觉系统所占据的皮层空间，也可以通过适当的训练加以扩大。因此可以预期，出现得更晚且始终发展着的语义类别映射更有可能随着使用而扩大或缩小。语义映射扩大的观点可以说明许多现象，例如个体对频繁进入脑的想法或者对模糊刺激的不恰当解释，

以及它们与人们有意识从事的活动的关系的密切程度。当我们写这本书的时候，脑成像研究中的观点通常会自发地、无须努力地进入脑；而当我们在休假时，这些想法就不会出现。

装修公寓一个月很可能会使个体对家具的命名更为流畅，而如果在动物园逛一个月则会在解释动物图片上产生同样的效应。与高频材料相对应的皮层组织会扩大。但是，仅仅是皮层组织的扩大并不足够；信息必须同时能捕获注意。而存储知识与注意捕获之间的关系是一个热点研究课题。根据本书第3章的材料，我们要问存储在记忆中的知识是如何影响当前兴趣的。

206

三、其他专长形式

人类可以自主利用感觉系统来形成表征，我们可以想象面孔、字母、词语或位置这一点就是明确的证明。心理学的主要成就之一就是设计了根据记忆而形成的感官表征的客观测验（Kosslyn，1980，1996）。例如，让一个被试想象以特定的角度旋转某个大写字母，同时测量被试判断靶字母是正确还是镜像字母所花费的时间（Cooper & Shepard，1973）。这些测验有部分被用作脑成像研究的激活任务，可以借此探测到所涉及的神经系统。有证据（图9.5小结）表明，表象利用了感觉系统。例如视觉中涉及纹外皮层，而其他一些情况下则涉及主要的视觉皮层、注意和语言系统（Kosslyn，Ganis & Thompson，2001）。

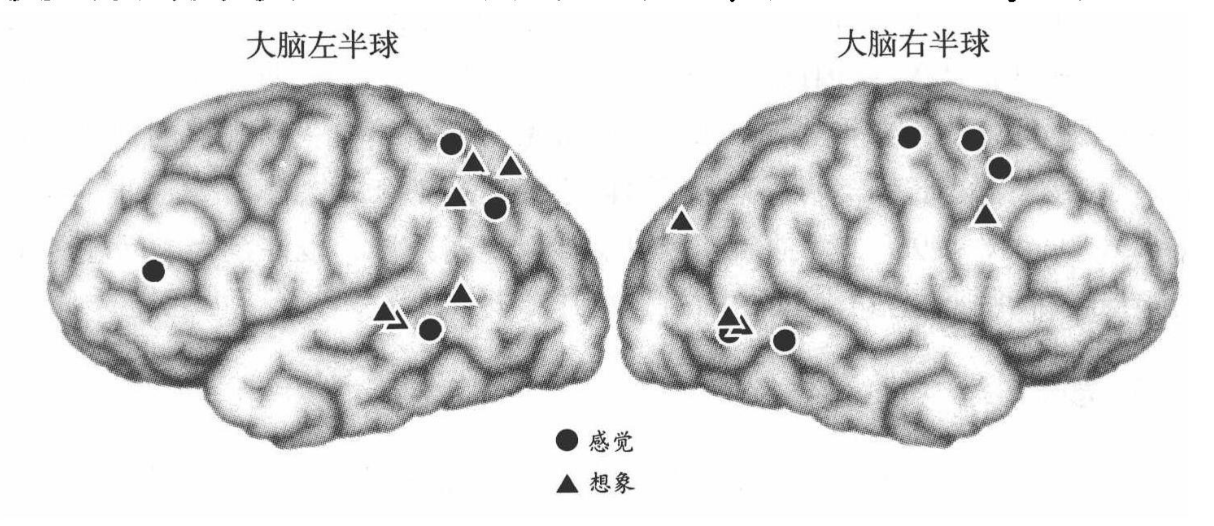


图9.5　知觉和想象所涉及的脑区比较。对于同一事件，想象的视觉表象（三角形）和真实的视知觉（圆形）会在很多相同的脑区产生激活。摘自 Images of Mind（p. 97）by M. I. Posner and M. E. Raichle，1994，New York：Scientific American Books. Copyright 1994 by W. H. Freeman & Co. 1994。改编得到允许。

1. 表象

表象使人们能够以真实或想象世界的具体表征来进行思考。这一思维形式在儿童身上似乎尤为强大，儿童通常创造想象的同伴，有时甚至整个表象世界，利用这一想象能力来自得其乐。

表象说明具体表征在支持思维过程中的重要性。人类，尤其是儿童，他们的抽象思维往往需要感觉支持。正如人们在感觉系统的敏感性上存在着差异一样，个体对于表象的意识程度也有着极大的个体差异。有些人会发觉表象影响他们对真实世界的感知；而对于其他人而言，可能永远无法有意识地觉察到自己对于当前并未感知到的事物产生视觉表征。表象在帮助信息的长时存储中特别有用。例如在地点助记法中，人们对熟悉道路上特定地点的信息进行视觉表征和存储，从中得到细节，以便于之后对所存储的信息进行提取。

207

2. 推理

学习的首要目标之一就是帮助儿童发展推理技能。正如本书第 1 章所述，心理学通常反对推理的训练可以自动迁移到不同学科的这一观点，但显然形成富有条理的讨论的能力会有助于不同科目的学习。

推理虽然涉及许多不同的技能，但演绎却可作为一个很好的模型。广为研究的一类问题即是三段论法。这一问题的阐述形式可以是具体的也可以是抽象的。括号中的部分即是抽象形式；例如，所有的人都会死（所有的 X 是 Y）；我是一个人（Z 是 X）；因此我会死（因此 Z 是 Y）。人们在具体形式的三段论的表现上远远优于抽象形式，尤其是如果前提条件符合他们所拥有的真实世界的知识。脑成像研究表明，这类具体问题主要激活语言区（Goel，Gold，Kapur & Houle，1998），而抽象问题可能涉及空间系统，也许是因为问题的解决需利用具体的图像（Goel & Dolan，2001）。

3. 隐喻

在隐喻研究中，有更多证据证明人类思维过程所具有的具体性非常重要。我们的很多推理都涉及对概念的比喻用法（Lakoff & Johnson，1980）。我们的直觉概念往往是以原型例子为中心进行组织的；与形式逻辑相比，它们具体得多。当我们想到一只动物时，我们通常会从一个更为具体明确的例子来进行推理，例如狗。隐喻往往将一个语义类别映射到另一个语义类别之上。当我们开始学习新内容时，我们可能将之比作旅程，讨论在学习上从一个概念到另一个

概念，一步一个脚印的重要性。我们经常将记忆比作一幅图画，理解了新材料就是“看到”它。或者我们会将学习能力看作资源，正如汽油之于汽车。如果有人学得很好，我们就说他们会走得很远，但如果他们无法表达他们所学的东西，他们就是“才尽词穷”。我们所遇到的理论经常被比喻为大厦的地基，而缺少证据支持的想法则摇晃不稳，会因自身的重量而坍倒。

在 Lakoff 和 Johnson（1980）看来，成年人并不能选择是否以隐喻的形式进行思考。这些作者认为，隐喻映射已经深植于人脑，停留在我们本章所述的不同等级的概念之上。许多隐喻是普遍通用的（例如，生命如同旅程），因为它们依赖于我们共同经验的性质。隐喻很可能来源于脑中关于语言、具体感觉运动区的共同激活。对隐喻式思维的理解，应是学校教育中很重要的一部分，因为它有助于论点的构建和理解。这也教会我们在他人试图控制我们思维的时候有更清醒的认识：他们做的一些隐喻联系可能很吸引人，但有可能会导向不恰当的推理。 208

四、小结

在本章中我们尝试着在阅读和计算领域之外，概括出人类思维所有形成的一些普遍特性。专长有赖于某一专门领域的特殊训练。我们从有关象棋大师的研究中可以推论，人类复杂的知识系统需要很多年才能获得。这一学习过程大部分都是内隐的，为了解决所选领域内的问题而对相关系统进行训练。若是要这些知识外显化，以便从中进行推理，就需要注意系统的参与。即使当我们进行的是高层的抽象思维，脑的感觉运动区仍有可能赋予我们思维以具体意义。这一概念表征的形式可能正是辩论中常用到的隐喻观的基础。

209

第十章

为上学作准备

在整本书中，我们一直提倡这样一种观点：

> 在这本书中我们所讨论的研究，为学生在学校的学科学习提供了新的视角。学习阅读和计算的能力看来取决于和这些学科相关的脑机制以及注意机制，而这些脑机制在正式的学校学习之前就已经部分形成了。虽然，近年来家长和教师们已经大致了解了孩子出生最初几年的重要性，但他们可能还没有认识到在这几年中语言、数学和注意学习方面的发展状况。心理学和脑科学的交叉研究为我们开辟了一条新的途径来探索生命早期这方面的知识。

在这本书中我们着重介绍了注意神经网络，因为这一重要的功能在婴儿和儿童早期就已经出现，并且每个人都会有注意力。只不过，个体注意神经网络的效率不同，而且经验可以使注意产生变化。在这一章中，我们将重点综述神经网络的可塑性方面的观点。首先是注意功能的神经网络，其次是语言，再次是数学。最后，我们还提出，网络教育可以让脑科学研究的发现受益于世界上任何地方的人。

210

一、注意的定向

正如在本书第 3 章中所讨论的，婴儿出生后的最初几个月，呈现新异的事物能引起他们对这些东西的关注。在这个阶段，他们看东西的能力（视觉的敏锐程度）以及他们定向注意的能力也逐步提高（图 3.1）。婴儿同时还学

会了他们该将目光投向哪里。研究发现，婴儿在固定的位置看到一些物体时，他们学会在物体出现之前就将目光投向这些位置（Clohessy，Posner & Rothbart，2001；Haith，Hazan & Goodman，1988）。在实验室研究中发现的这一技能在婴儿的日常生活中也很重要。每种文化中都有一些关于在沟通中目光应该投向何方的潜在规则。婴儿似乎在早期阶段就能很容易地学会这些规则。当然，人的眼睛并不是注意的最完美指标，因为一个人可以盯着一个地方而注意的却是另一个地方，但是它们至少为注意的位置提供了一个相对接近的指标。

二、自我调节

注意定向神经系统在婴儿时期得到了较快的发展，而正如第4章中所描述的，注意执行网络系统则是在2—7岁时逐渐发展起来的（Rueda，Fan et al.，2004）。我们的训练研究（第五章）发现，4岁和6岁儿童的注意执行系统都可以通过训练来提高（Rueda，Rothbart，McCandliss，Saccamanno & Posner，2005）。通过5天的训练，两个年龄组儿童的表现都比控制组儿童的表现更接近成人。脑电记录的数据（图5.6）也表明，训练改变了执行系统网络中前扣带回的激活情况。训练后智力测验的结果还显示，这种训练影响了未经训练的其他认知功能。过去的研究从解剖学、神经调质以及基因的角度都对这一神经网络进行了探讨，这项研究的意义还在于，提供了一个新的模式来理解经验如何改变特定神经网络的功效。不过，我们尚无法确定这种提高是仅限于训练期间，还是对被训练者之后的学习生活也有影响。

虽然家长和教育者都明白儿童期孩子的自我调节能力会逐渐提高，不过他们可能还不知道注意力以及特定的神经网络都是可以通过训练而得到提高。在今后的研究中，我们将比较不同气质类型甚至不同遗传基因的儿童，研究哪些人群可能有注意障碍，针对哪些人群的训练效果最好。另外，如果证明了注意训练在治疗儿童的各种精神疾病中有效的话，它可以作为一种早期干预的手段，避免病理状况影响孩子一生的发展。

在本书第5章我们讨论过，脑中和注意相关的神经网络和一些特定的基因有关。注意定向的神经网络形成于1岁以前（见第3章）。对猴子进行的神经药理学研究发现，胆碱能系统（cholinergic system）会调节与注意定向有关的神经网络（Marrocco & Davidson，1998）。Parasuraman，Greenwood，Kumar和Fossella（2005）考察了不同基因型的被试个体在完成注意指向任务中的表现。 211

结果发现，两个等位基因与这些任务的完成情况有关。在另一个类似的研究中则发现，之后发展的注意执行网络受到多巴胺的调节，而其功效也与四种多巴胺基因有关（Fossella et al.，2002）。在一项研究中，运用其中两种等位基因，在被试完成这个注意网络测试（Attention Network Test）时进行脑扫描。（Fan，Fossella，Sommer，Wu & Posner，2003）。研究显示，这些等位基因与前扣带回的活动强度有关，而这一区域是注意执行网络中的一个重要结点。

这些遗传方面的研究基于比较不同等位基因的个体在激活水平与注意相关的神经网络方面的效率差异。很有可能这些基因在神经网络的形成方面有重要作用。目前的研究显示，在参与阅读和数学加工等技能方面的脑区可能存在选择性遗传，这将使我们可以最终了解，不同的等位基因和人在习得这些技能时出现的困难有何关联。

三、语言

在本书第7章我们讨论过，婴儿来到世界时能够区分世界上所有语言的语言单位（音素）。例如，当某个音素一遍一遍地被重复时（例如，ba），它的新异性就会减少，而当婴儿听到另一种不同的音素时（例如，da），就会重新表现出对新异刺激的反应，这种反应可以证明他们对音素的辨别能力。婴儿的听觉系统能够学习他们接触到音素，6—10个月是他们的音素结构形成的时期（P. K. Kuhl，2000）。在这个阶段，婴儿听到的声音逐渐固化，并最终形成了语言中的音素原型，同时他们区分不同语言中音素的能力则渐渐消失。在英语家庭中长大的孩子，如果在6—10个月大时接触说中文的人，他们分辨中文的能力可以保持下来（P. K. Kuhl，Tsao & Liu，2003）。而且，这种学习只有接触现实中的人才可能产生，只接触录像则没有效果。目前的研究试图找出社会交往中究竟哪些要素对婴儿语言的塑造有重要贡献，以期设计出适合他们的多媒体呈现方式。以上所列举的研究以及其他研究都告诉我们，婴儿的听觉系统受到他们所在社会的言语方式的影响。

212

此外，我们在记录被试头皮的事件相关电位（ERPs）的条件下，先高频率呈现某一个音素，然后替换为一个低频率呈现的音素（Cheour et al.，1997；Guttorm et al.，2005；Molfese，2000）。当脑觉察到新异的音素刺激出现时，脑电就会出现不同的反应。通过记录脑活动的情况，我们就可以知道婴儿是否能分辨不同的音素。这种脑电活动记录方法可以用于测量脑分辨的能力。通过这样的方式，我们就能测查到儿童学习母语或者其他语言（例如其他父母希望

儿童学习的语言）的音素结构是否已经形成。而且，我们还可以通过这些测查到的数据预测今后口语和阅读方面的发展是否会存在障碍（Guttorm et al.，2005；Molfese，2000）。通过对婴儿脑电记录的最新研究方法，即合并六个电极所收集的数据，发现这些数据可以有效预测读写能力方面的发展障碍（Kook，Gupta，Molfese & Fadem，2005）。所有这些研究都通过对婴儿的电活动信号的探测，使研究者能够确定婴儿早期音素结构的形成过程。目前已经可以广泛运用脑干事件相关电位检查婴儿的听觉障碍了。

无数的研究已经证实，阅读技能在很大程度上取决于儿童已经掌握的音素以及对音素的有效运用（Stanovich，Cunningham & Cramer，1984）。例如，有关音素意识的研究发现，对听觉词汇进行切分的能力可以有效预测读写能力的发展。这样就可以不用既耗时又花费高昂的电活动记录方法，而直接运用行为测验就可以评估父母在语音教育方面的成效。事实上，进行这种评估是非常有必要的。如果婴儿的注意力正集中在某个视觉刺激物上，当他们听到一个新异的声音刺激时，他们会转头朝向新异刺激的方向（P. K. Kuhl，2000）。如果可能的话，应该将这些视觉和听觉材料上传到网络上，并且允许爸爸妈妈们通过这些材料来评估孩子们的学习效果。如果大人们能清楚明白地了解到孩子正在学什么，他们就能提供一个更有针对性的听觉环境，这样也有利于今后的阅读学习。我们认为，音素分析及其在阅读中的作用，如何评估音素学习效果等知识，应当在网络信息中得到更多的关注。这些方面的进展将使更多家长理解他们在教育方面作出努力的重要性和有效性。

四、数学

在第8章中我们提到，已有研究证据表明，参与数字评估的脑区在婴儿时期就可以形成心理数轴功能（Berger，Tzur & Posner，即将发表；Feigenson，Dehaene & Spelke，2004；Wynn，1992）。婴儿能够比较小数字的数量，他们会用惊讶的行为表达他们对错误计算的判断（Wynn，1992），并同时会出现脑激活反应（Berger et al.，2006）。

有的孩子在数字和数字所代表的数量含义上无法形成有效的对应关系。这些孩子在以后学习小学数学方面可能会出现困难。“Rightstart”的课程方案为这样的孩子提供为期一年的矫正训练，着重强调数字及其数量含义之间的对应关系（Griffin，Case & Siegler，1995）。在学习这个课程方案后，接受训练的学生在小学数学学习方面比没有接受训练的学生成绩更好。另一项通过计算机

程序的训练课程（此课程可以在网络上在线学习），对训练学生数量方面的能力也有显著效果（Wilson，Dehaene，Rivkin，Cohen & Cohen，2006）。

五、网络教育

这些研究发现促使经济合作与发展组织的教育研究与创新中心的研究者们建立了一个专门的网站（http：//www. teach-the-brain. org），专门介绍婴儿期和教育有关的脑研究。这个网站的开设有效地利用了网络资源帮助公众去了解基于脑的研究。

214

到目前为止，已经有三个研究项目在网络上公布，分别是：注意训练的研究（Rueda et al.，2005）、读写能力的研究（McCandliss，Beck，Sandak & Perfetti，2000）以及数字能力的研究（Wilson et al.，2006）。网络使用者需要登录网站，用自己的电脑下载项目相关的训练课程。我们提供这些训练课程是希望和使用者形成互动，一方面下载者可以使用这些课程进行训练，另一方面我们可以收集他们使用课程后的数据。通过这种方式，这些训练课程能够促进研究的深入，进而提高和改进训练课程。

虽然有些研究显示，使用这些课程训练能够引起脑功能的某些方面得到改善，但是我们还无法证实它们是否是最佳的训练方案。事实上，在这个网站中，我们不仅告诉公众相关的科学研究，还告诉大家和研究有关的训练课程方面的进展情况。不过，许多类似的商业课程也在向公众兜售。我们的目的是要告诉大家那些有实证研究支持的课程，同时也会列出一些讨论内容，专门介绍那些还没有被验证的或者是在其商业广告中含有虚夸成分的课程。

本书中所提及的许多基于脑研究的结果不仅对从事儿童早期教育的工作者有启示作用，而且一些研究发现还和儿童以后技能的发展也有关系（第9章）。例如，在第7章中我们讨论过的一个研究，追踪儿童4—10岁时视觉词形系统的发展（Posner & McCandliss，1999）。研究表明视词形系统的发展开始得相当晚，从只能识别熟悉的单词逐步发展为可以识别基于英语正字法规则的单词。这类研究中所用到的方法，可以很好地用于探讨儿童纯粹的阅读技能发展（第7章）。针对其他一些技能（如对视觉物体的专业感知）的研究也表明，这些技能是在脑后部系统的基础上发展起来的，而这些系统之前是用于其他刺激反应的（第9章）。今后的研究也许将有助于高级复杂技能的获得。而脑成像技术（第2章）有助于我们了解特定形式的技能训练是如何影响与此技能相关的特定神经网络的。

未来网络系统的一个发展目标是进一步理解和阅读、注意以及数学方面有关的科学研究，包括评估科学研究的结果，分析图表和数学公式，以及理解科学的表述，在此基础上运用这些知识促进儿童的发展。这方面的知识对于全世界21世纪的工作者来说都是非常重要的，而且如果能让所有国家的儿童来掌握这些知识也将是非常有意义的课程目标。

215

六、未来的研究

这一章中我们总结了人脑发育中与注意及其他高级功能相关的研究成果。这一方向的研究前景非常光明。在最后这个部分，我们将在已经取得的研究进展的基础上对这一领域的未来前景进行展望。

应该说，脑成像技术的出现为研究脑的发育提供了一个新的平台（第2章）。未来对儿童脑成像方法的开发还将使研究者们取得更多有效的成果。在最近对儿童的一些相关研究中，我们已经开始了解脑发育的一些重要信息。

脑成像技术让研究者可以观察到活体脑的功能活动以及连接情况。结构性成像技术逐步让我们看到个体脑区的大小在发育过程中是如何变化的。功能性成像技术则可以让我们追踪儿童成长的过程中，他们完成一些简单任务时神经回路的变化以及激活区域的改变。扩散张量成像让我们观察到各脑区之间连接通路的髓鞘形成。记录头皮的电活动可以发现不相邻的脑区之间是否存在连接通路。研究已经证实，儿童的脑随着神经区域之间连接通路的增加，逐渐从局部加工发展为全脑加工（Srinivasan，1999）。

综合前面讨论过的这些研究方法，我们可以对未来的研究作出一些推测。虽然阅读和数学能力的基本要素（音素分析和心理数轴）在婴儿出生后就已经存在于他们的脑中，但婴儿还不具备学习阅读和数学的能力。这些能力的发展主要依赖于两方面，一方面是额叶区域成熟后执行注意功能的完善，另一方面是与音素或心理数轴有关的脑区和额区之间连接的成熟。Klingberg 等（2000）的研究已经发现，阅读困难者的脑中，其语言区之间的连接和普通人有所不同。目前还无法确定的是，这种状况是阅读困难产生的原因还是结果。目前追踪这些神经网络发展的研究才刚刚开始（Nagy，Westerberg & Klingberg，2004）。Nagy 等（2004）发现，在某些后部区域白质通路的发展，与8—18岁青少年的阅读能力及工作记忆的发展有关。如果我们可以在学习阅读之前，在它们功能正常的时候，追踪这些神经网络的发展，我们就可以确定

这些神经网络是否是阅读困难产生的原因，也可以判断教学干预是否能促进它们的发展。同时，我们还可以确定针对数字和数量关系的教学（第8章），究竟是改变了加工心理数轴的脑区，还是提高了加工心理数轴的功能区和其他重要脑区之间的连接效率。

216

神经影像技术为我们提供了一个重要视角看到人脑的发展，针对不同气质类型的婴儿和儿童的研究（第2、6章），让我们了解到不同类型的儿童对感知到的环境作出不同的反应，他们在控制自己的情绪、思想和行为等方面也存在差异。现在我们已经可以分析遗传以及环境因素在造成个体差异方面的影响（第5章）。与努力控制有关的神经网络系统的发展依赖于某些特定的基因，其中一些基因已经被识别出来。研究还发现，对脑损伤病人、精神障碍者或普通儿童进行的特别训练会改变注意的神经网络。

努力控制的机制也是学习各种学校知识的基础，例如读写（第7章）、数学（第8章）以及专长的学习（第9章）、文化基础知识等。在未来，我们将能更深刻、更准确地了解，在不同年龄阶段进行的教育干预对脑的神经网络产生了怎样的影响和改变。了解这些知识将有助于促进普通儿童的成长，还能够有效地改善不同的发展性障碍，例如注意缺陷多动障碍、自闭症以及人格障碍等（Rothbart & Posner，2006）。而且，已经有许多研究证据发现，针对抑郁症的药物治疗和行为干预都有一定疗效，但两种方法针对的神经网络完全不同（Goldapple et al.，2004）。神经影像研究将为我们揭示针对何种人群运用何种治疗方案能达到最佳的治疗效果。

了解各种不同课程（例如学习读写和数学）对神经网络的影响，还能促进教育制度的发展。一些提倡相反观点的阅读方法对与阅读相关的神经网络的不同部分有影响作用。在本书中，我们始终认为，注意功能的发展是关键的前提条件，在此基础上才能实现情绪和认知等多方面的社会化。当然，在这个领域，我们现在还有许多问题有待探索，但目前已经掌握的、并在未来会不断发展的技术工具，将有助于我们在这个领域取得更深入的知识。

参考文献

Abdullaev, Y. G. , & Posner, M. I. (1998). Event-related brain potential imaging of semantic encoding during processing single words. *Neurolmage*, 7, 1-13.

Adler, A. (1946). *Understanding human nature* (W. B. Wolfe, Trans.). New York: Greenberg.

Adolphs, R. , Tranel, D. , Hamann, S. , Young, A. W. , Calder, A. J. , Phelps, E. A. , et al. (1999). Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia*, 37, 1111-1117.

Ahadi, S. A. , Rothbart, M. K. , & Ye, R. (1993). Children's temperament in the U. S. and China: Similarities and differences. *European Journal of Personality*, 7, 359-378.

Anderson, A. K. , & Phelps, E. A. (2001, May 17). Lesions of the human amygdala impair enhanced perception of emotionally salient events. *Nature*, 411, 305-309.

Ansari, D. , Garcia, N. , Lucas, E. , Hamon, K. , & Dhital, B. (2005). Neural correlates of number process in children and adults. *NeuroReport*, 16, 1769-1773.

Ashby, F. G. , lsen, A. M. , & Turken, U. A. (1999). Neuropsychological theory of positive affect and its influence on cognition. *Psychological Review*, 106, 529-550.

Assor, A. , Roth, G. , & Deci, E. L. (2004). The emotional costs of parents' conditional regard: A self-determination theory analysis. *Journal of Personality*, 72, 47-88.

Atkinson, R. C. , & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and memory* (Vol. 2, pp. 89-195). New York: Academic Press.

Auerbach, J. , Geller, V. , Lezer, S. , Shinwell, E. , Belmaker, R. H. , Levine, J. , & Ebstein, R. P. (1999). Dopamine D4 receptor (D4DR) and serotonin transporter promoter (5-HTTLPR) polymorphisms in the determination of temperament in 2-month-old infants. *Molecular Psychiatry*, 4, 369-373.

Ausubel, D. P. (1996). *Ego development and psychopathology.* New Brunswick, NJ: Transaction Publishers.

Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 119-126.

Ayduk, O., Mendoza-Denton, R., Mischel, W., Downey, G., Peake, P. K., & Rodriguez, M. (2000). Regulating the interpersonal self: Strategic self-regulation for coping with rejection sensitivity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79, 776-792.

Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (pp. 47-90). New York: Academic Press.

Badgaiyan, R., & Posner, M. I. (1997). Time course of cortical activations in implicit and explicit recall. *Journal of Neuroscience*, 17, 4904-4913.

Baldwin, D. A. (1991). Infant contribution to the achievement of joint reference. *Child Development*, 62, 875-890.

Bandura, A. (1989). Human agency in social cognitive theory. *American Psychologist*, 44, 1175-1184.

Bates, J. E., Pettit, G. S., & Dodge, K. A. (1995). Family and child factors in stability and change in children's aggressiveness in elementary school. In J. McCord (Ed.), *Coercion and punishment in long-term perspectives* (pp. 124-138). New York: Cambridge University Press.

Bauer, P. J., Wiebe, S. A., Carver, L. J., Waters, J. M., & Nelson, C. A. (2003). Developments in long-term explicit memory late in the first year of life: Behavioral and electrophysiological indices. *Psychological Science*, 14, 629-635.

Beauregard, M., Levesque, J., & Bourgouin, P. (2001). Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. *Journal of Neuroscience*, 21, RC165.

Benes, F. (1995). A neurodevelopmental approach to the understanding of schizophrenia and other mental disorders. In D. Cichetti & D. J. Cohen (Eds.), *Developmental psychopathology: Vol. 1. Theory and methods* (pp. 227-253). New York: Wiley.

Benes, F. (1999). Model generation and testing to probe neural circuitry in the cingulate cortex of postmortem schizophrenic brains. *Schizophrenia Bulletin*, 24, 219-229.

Berger, A., Tzur, G., & Posner, M. I. (in press). Infant brains detect arithmetic errors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA.*

Blair, C. (2003). Behavioral inhibition and behavioral activation in young children: Relations with self-regulation and adaptation to preschool in children attending Head Start. *Developmental Psychobiology*, 42, 301-311.

Blair, R. J. R., Jones, L., Clark, F., & Smith, M. (1997). The psychopathic individual: A lack of responsiveness to distress cues? *Psychophysiology*, 34, 192-198.

Blanchard, D. C., & Takahashi, S. N. (1988). No change in intermale aggression after amyg-

dala lesions which reduce freezing. *Physiology and Behavior*, 42, 613–616.

Blasi, G., Mattay, G. S., Bertolino, A., Elveråg, B., Callicott, J. H., Das, S., et al. (2005). Effect of catechol-O-methyltransferase val158 met genotype on attentional control. *Journal of Neuroscience*, 25, 5038–5045.

Block, J. H., & Block, J. (1980). The role of ego-control and ego-resiliency in the organization of behaviour. In W. A. Collins (Ed.), *Minnesota Symposia on Child Psychology: Vol. 13. Development of cognition, affect, and social relations* (pp. 39 – 101). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Bohart, A. C., & Stipek, D. J. (Eds.). (2001). *Constructive and destructive behavior: Implications for family, school, and society.* Washington, DC: American Psychological Association.

Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624–652.

Bowlby, J. (1969). *Attachment and loss* (Vol. 1). New York: Basic Books.

Boysen, S. T., & Berntson, G. G. (1996). Quantity-based interference and symbolic representation in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22, 76–86.

Bramlett, R. K., Scott, P. L., & Rowell, R. K. (2000). A comparison of temperament and social skills in predicting academic performance in first graders. *Special Services in Schools*, 16, 147–158.

Broadhurst, P. L. (1975). The Maudsley reactive and nonreactive strains of rats: A survey. *Behavioral Genetics*, 5, 299–319.

Broca, P. (1861). Perti de parole, remollissement chronique et destruction partielle du lobe anterieur gauche du cerveau [Loss of speech, chronic softening and partial destruction of the anterior lobe of the brain]. *Bulletin de la Societé Anthropologique Paris*, 2, 235–238.

Brown, J. R., Ye, H., Bronson, R. T., Dikkes, P., & Greenberg, M. (1996). A defect in nurturing in mice lacking the immediate early gene fosB. *Cell*, 86, 297–309.

Bruer, J. T. (1999). *The myth of the first three years of life.* New York: Free Press.

Bruner, J. S. (1960). *The process of education.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Brush, F. R., Gendron, C. M., & Isaacson, M. D. (1999). A selective genetic analysis of the Syracuse high-and low-avoidance (SHA/Bru and SLA/Bru) strains of rats (*Rattus norvegicus*). *Behavioral Brain Research*, 106, 1–11.

Buckner, R. L., Petersen, S. E., Ojemann, J. G., Meizin, F. M., Squire, L. R., & Raichle, M. E. (1995). Functional anatomic studies of explicit and implicit memory retrieval tasks. *Journal of Neuroscience*, 15, 12–29.

Bush, G., Frazier, J. A., Rauch, S. L., Seidman, L. J., Whalen, P. J., Rosen, B. R.,

& Biederman, J. (1999). Anterior cingulate cortex dysfunction in attention deficit/hyperactivity disorder revealed by fMRI and the counting Stroop. *Biological Psychiatry*, 45, 1542-1552.

Bush, G., Luu, P., & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 215-222.

Buss, A. H., & Plomin, R. (1975). *A temperament theory of personality development.* New York: Wiley.

Buss, A. H., & Plomin, R. (1984). *Temperament: Early developing personality traits.* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Butcher, P. R., Kalverboer, A. F., & Geuze, R. H. (1999). Inhibition of return in very young infants: A longitudinal study. *Infant Behavior and Development*, 22, 303-319.

Butcher, P. R., Kalverboer, A. F., & Geuze, R. H. (2000). Infants' shifts of gaze from a central to a peripheral stimulus: A longitudinal study of development between 6 and 26 weeks. *Infant Behavior and Development*, 23, 3-21.

Calder, A. J., Lawrence, A. D., & Young, A. W. (2001). Neuropsychology of fear and loathing. *Nature Reviews: Neuroscience*, 2, 352-363.

Calkins, S., & Williford, A. (2003, April). Anger regulation in infancy: Consequences and correlates. In S. C. Crockenberg & E. M. Leerkes (Cochairs), *How infants regulate negative emotions: What is effective? What is adaptive?* Symposium presentation at the biennial meeting of the Society for Research in Child Development, Tampa, FL.

Canli, T., Zhao, Z., Desmond, J. E., Kang, E., Gross, J., & Gabrieli, J. D. E. (2001). An fMRI study of personality influences on brain reactivity to emotional stimuli. *Behavioral Neuroscience*, 115, 33-42.

Cantlon, J. F., Brannon, E. M., Carter, E. J., & Pelphrey, K. A. (2006). Functional imaging of numerical processing in adults and 4-year-old children. *Public Library of Science: Biology*, 4, 844-854.

Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child Development*, 72, 1032-1053.

Carter, C. S., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (1999). The contribution of the anterior cingulate cortex to executive processes in cognition. *Reviews in Neuroscience*, 10, 49-57.

Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., & Cohen, J. D. (1998, May 1). Anterior cingulate cortex, error detection and on line monitoring of performance. *Science*, 280, 747-749.

Casey, B. J., Durston, S., & Fossella, J. (2001). Evidence for a mechanistic model of cognitive control. *Clinical Neuroscience Research*, 4, 267-282.

Casey, B. J., Trainor, R., Giedd, J., Vauss, Y., Vaituzis, C. K., Hamburger, S., et

al. (1997). The role of the anterior cingulate in automatic and controlled processes: A developmental neuroanatomical study. *Developmental Psychobiology*, 3, 61-69.

Casey, B. J., Trainor, R. J., Orendi, J. L., Schubert, A. B., Nystrom, L. E., Giedd, J. N., et al. (1997). A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 835-847.

Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.

Cheatham, P. G., & White, C. T. (1954). Temporal numerosity Ⅲ: Auditory perception of number. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 425-428.

Cheour M., Alho, K., Sainio, K., Reinikainen, K., Renlund, M., Aaltonen, O., et al. (1997). The mismatch negativity to changes in speech sounds at the age of three months. *Developmental Neuropsychology*, 13, 167-174.

Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Chi, M. T. H., Glaser, R., & Farr, M. J. (Eds.). (1988). *The nature of expertise.* Hillsdale, NJ: LEA.

Chi, M. T. H., & Koeske, R. D. (1983). Network representation of a child's dinosaur knowledge. *Developmental Psychology*, 19, 29-39.

Chochon, F., Cohen, L., van de Moortele, P. F., & Dehaene, S. (1999). Differential contributions of the left and right inferior parietal lobules to number processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 617-630.

Chua, H. F., Boland, J. E., & Nisbett, R. E. (2005). Cultural variation in eye movements during scene perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 102, 12629-12633.

Cicchetti, E., & Rogosch, F. A. (1996). Equifinality and multifinality in developmental psychopathology. *Development and Psychopathology*, 8, 597-600.

Clark, V. P., & Hillyard, S. A. (1996). Spatial selective attention affects only extrastriate but not striate components of the visual evoked potential. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 387-402.

Clifford, M. M. (1984). Thoughts on a theory of constructive failure. *Educational Psychologist*, 2, 108-120.

Clohessy, A. B., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2001). Development of the functional visual field. *Acta Psychologica*, 106, 51-68.

Clohessy, A. B., Posner, M. I., Rothbart, M. K., & Vecera, S. P. (1991). The development of inhibition return in early infancy. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 345-350.

Cloninger, C. R. (1986). A unified biosocial theory of personality and its role in the development

of anxiety states. *Psychiatric Developments*, 3, 167-226.

Cohen, L., Martinaud, O., Lemer, C., Lehericy, S., Samson, Y., Obadia, M., et al. (2003). Visual word recognition in the left and right hemispheres: Anatomical and functional correlates of peripheral alexias. *Cerebral Cortex*, 13, 1313-1333.

Connell, J. P., & Wellborn, J. G. (1991). Competence, autonomy, and relatedness: A motivational analysis of self-system processes. In M. R. Gunnar & L. A. Sroufe (Eds.), *Minnesota Symposia on Child Psychology* (Vol. 23, pp. 43-77). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Conturo, T. E., Lori, N. F., Cull, T. S., Akbudak, E., Snyder, A. Z., Shimony, J. S., et al. (1999). Tracking neuronal fiber pathways in the living human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 96, 10422-10427.

Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Mental rotation of letters. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. New York: Academic Press.

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews: Neuroscience*, 3, 201-215.

Covington, M. V. (1992). *Making the grade: A self worth perspective on motivation and school reform.* New York: Cambridge University Press.

Covington, M. V. (1998). *The will to learn: A guide for motivating young people.* New York: Cambridge University Press.

Crick, F. H. C., & Watson, J. D. (1954). The complementary structure of deoxyribonucleic acid. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 223, 80-96.

Crottaz-Herbett, S., & Mennon, V. (2006). Where and when the anterior cingulated cortex modulates attentional response: Combined fMRI and ERP evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 766-780.

Damasio, A. (1994). *Descartes' error.* New York: Avon Books.

Davidson, M. C., & Marrocco, R. T. (2000). Local infusion of scopolamine into intraparietal cortex slows covert orienting in rhesus monkeys. *Journal of Neurophysiology*, 83, 1536-1549.

Davidson, R. J. (2000). Affective style, psychopathology and resilience: Brain mechanisms and plasticity. *American Psychologist*, 55, 1196-1214.

Davidson, R. J., Putnam, K. M., & Larson, C. L. (2000, November 10). Dysfunction in the neural circuitry of emotion regulation—A possible prelude to violence. *Science*, 289, 591-594.

Davis, M., Hitchcock, J. M., & Rosen, J. B. (1987). Anxiety and the amygdala: Pharmacological and anatomical analysis of the fear-potentiated startle paradigm. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*

(Vol. 21, pp. 263-305). San Diego, CA: Academic Press.

Dehaene, S. (1996). The organization of brain activations in number comparison: Event-related potentials and the additive-factors method. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 47-68.

Dehaene, S. (1997). *The number sense.* New York: Oxford University Press.

Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 16, 626-641.

Dehaene, S., Kerszberg, M., & Changeux, J. P. (1998). A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 95, 14529-14534.

Dehaene, S., Posner, M. I., & Tucker, D. M. (1994). Localization of a neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, 5, 303-305.

Dehaene, S., Spelke , E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999, May 7). Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. *Science*, 284, 970-974.

Dehaene-Lambértz, G., Dehaene, S., & Hertz-Pannier, L. (2002, December 6). Functional nueroimaging of speech perception in infants. *Science*, 298, 2013-2015.

Depue, R. A., & lacono, W. G. (1989). Neurobehavioral aspects of affective disorders. In M. R. Rosenzweig & L. Y. Porter (Eds.), *Annual review of psychology* (Vol. 40, pp. 457-492). Palo Alto, CA: Annual Reviews.

Derryberry, D., & Reed, M. A. (1994a). Temperament and attention: Orienting toward and away from positive and negative signals. *Journal of Personality and Social Psychology*, 66, 1128-1139.

Derryberry, D., & Reed, M. A. (1994b). Temperament and the self-organization of personality. *Development and Psychopathology*, 6, 653-676.

Derryberry, D., & Reed, M. A. (1996). Regulatory processes and the development of cognitive representations. *Development and Psychopathology*, 8, 215-234.

Derryberry, D., & Rothbart, M. K. (1988). Arousal, affect, and attention as components of temperament. *Journal of Personality and Social Psychology*, 55, 958-966.

Diamond, A. (1991). Neuropsychological insights into the meaning of object concept development. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 67-110). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Diamond, A., Briand, L., Fossella, J., & Gehlbach, L. (2004). Genetic and neurochemical modulation of prefrontal cognitive functions in children. *American Journal of Psychiatry*, 161, 125-132.

Dienstbier, R. A. (1984). The role of emotion in moral socialization. In C. E. Izard, J. Kagan,

& R. B. Zajonc (Eds.), *Emotions, cognition and behavior* (pp. 484–518). New York: Cambridge University Press.

Ding, Y. C., Chi, H. C., Grady, D. L., Morishima, A., Kidd, J. R., Kidd, K. K., et al. (2002). Evidence of positive selection acting at the human dopamine receptor D4 gene locus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 99, 309–314.

Donders, F. C. (1868). On the speed of mental processes. *Acta Psychologia*, 30, 412–413.

Drevets, W. C., & Raichle, M. E. (1998). Reciprocal suppression of regional blood flow during emotional versus higher cognitive processes: Implications for interactions between emotion and cognition. *Cognition and Emotion*, 12, 353–385.

Dronkers, N. F. (1996, November 14). A new brain region for coordinating speech articulation. *Nature*, 384, 159–161.

Duda, R. O., & Shortliffe, E. H. (1983, April 15). Expert systems research. *Science*, 220, 261–268.

Duncan, J., Seitz, R. J., Kolodny, J., Bor, D., Herzog, H. Ahmed, A., et al. (2000, July 21). A neural basis for general intelligence. *Science*, 289, 457–460.

Dweck, C. (1991). Self-theories and goals: Their role in motivation, personality, and development. In R. A. Dienstbier (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation*: *Vol.* 38. *Perspectives on motivation* (pp. 199–236). Lincoln: University of Nebraska Press.

Dweck, C. S. (2000). *Self-theories: Their role in motivation, personality, and development. Essays in social psychology.* Philadelphia: Psychology Press.

Early, T. S., Posner, M. I., Reiman, E. M., & Raichle, M. E. (1989). Hyperactivity of the left striato-pallidal projection, Part I: Lower level theory. *Psychiatric Developments*, 2, 85–108.

Eccles, J. (1983). Expectancies, values, and academic behaviors. In J. T. Spence (Ed.), *Achievement and achievement motives: Psychological and sociological approaches* (pp. 75–146). San Francisco: Freeman.

Egan, M. F., Goldberg, T. E., Kolachana, B. S., Callicott, J. H., Mazzanti, C. M., Straub, R. E., et al. (2001). Effect of COMT Val108/158 Met genotype on frontal lobe function and risk for schizophrenia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 98, 6917–6922.

Egan, M. F., Kojima, M., Callicott, J. H., Goldberg, T. E., Kolachana, B. S., Bertolino, A., et al. (2003). The BDNF val66met polymorphism affects activitydependent secretion of BDNF and human memory and hippocampal function. *Cell*, 112, 257–269.

Eisenberg, N., Fabes, R. A., Guthrie, I. K., Murphy, B. C., Poulin, R., & Shepard, S. (1996). The relations of regulation and emotionality to problem behavior in elementary school children. *Development and Psychopathology*, 8, 141–162.

Eisenberg, N., Fabes, R. A., Nyman, M., Bernzweig, J., & Pinulas, A. (1994). The relations of emotionality and regulation to children's anger-related reactions. *Child Development*, 65, 109–128.

Eisenberg, N., Fabes, R. A., Shepard, S. A., Murphy, B. C., Guthrie, I. K., Jones, S., et al. (1997). Contemporaneous and longitudinal prediction of children's social functioning from regulation and emotionality. *Child Development*, 68, 642–664.

Eisenberg, N., & Okun, M. A. (1996). The relations of dispositional regulation and emotionality to elders' empathy-related responding and affect while volunteering. *Journal of Personality*, 64, 157–183.

Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995, October 13). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270, 305–307.

Elliot, A. J., & Harackiewicz, J. (1996). Approach and avoidance goals and intrinsic motivation: A mediational analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70, 461–475.

Emde, R. N., Gaensbauer, T. J., & Harmon, R. J. (1976). Emotional expression in infancy: A biobehavioral study. *Psychological Issues*, 10 (1, Monograph No. 37). New York: International Universities Press.

Erez, A., & Isen, A. M. (2002). The influence of positive affect on the components of expectancy motivation. *Journal of Applied Psychology*, 87, 1055–1067.

Ericsson, K. A., & Chase, W. G. (1982). Exceptional memory. *American Scientist*, 70, 607–615.

Ericsson, K. A., & Smith, J. (Eds.). (1991). *Toward a general theory of expertise.* Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Evans, D., & Rothbart, M. K. (2004). *A hierarchical model of temperament and the Big Five.* Manuscript submitted for publication.

Everatt, J. (Ed). (1999). *Reading and dyslexia: Visual and attentional processes.* London: Routledge.

Fan, J., Flombaum, J. I., McCandliss, B. D., Thomas, K. M., & Posner, M. I. (2003). Cognitive and brain consequences of conflict. *NeuroImage*, 18, 42–57.

Fan, J., Fossella, J. A., Sommer, T., Wu, Y., & Posner, M. I. (2003). Mapping the genetic variation of executive attention onto brain activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 100, 7406–7411.

Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *NeuroImage*, 26, 471–479.

Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, M., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14,

340-347.

Fan, J., Wu, Y., Fossella, J., & Posner, M. I. (2001). Assessing the heritability of attentional networks. *BMC Neuroscience*, 2, 14.

Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 307-314.

Ffytche, D. H., Guy, C. N., & Zeki, S. (1995). The parallel visual motion inputs into areas V1 and V5 of human cerebral cortex. *Brain*, 118, 1375-1394.

Filipek, P. A., Semrud-Clikeman, M., Steingard, R. J., Renshaw, P. F., Kennedy, D. N., & Biederman, J. (1997). Volumetric MRI analysis comparing subjects having attention-deficit hyperactivity disorder with normal controls. *Neurology*, 48, 589-601.

Flavell, J. H. (1963). *The developmental psychology of Jean Piaget.* Princeton, NJ: Van Nostrand.

Fossella, J., & Posner, M. I. (2004). Genes and the development of neural networks underlying cognitive processes In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (3rd ed., pp. 1255-1266). Cambridge, MA: MIT Press.

Fossella, J., Sommer T., Fan, J., Wu, Y., Swanson, J. M., Pfaff, D. W., & Posner, M. I. (2002). Assessing the molecular genetics of attention networks. *BMC Neuroscience*, 3, 14.

Friston, K. J., Holmes, A. P., Price, C. J., Buchel, C., & Worsley, K. J. (1999). Multisubject fMRI studies and conjunction analyses. *NeuroImage*, 10, 385-396.

Frith, U., & Frith, C. (2001). The biological basis of social interaction. *Current Directions in Psychological Science*, 10, 151-155.

Galton, F. (1907). *Inquiries into human faculty and its development.* London: J. M. Dent & Sons Ltd.

Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences.* New York: Basic Books.

Gartstein, M. A., & Rothbart, M. K. (2003). Studying infant temperament via the Revised Infant Behavior Questionnaire. *Infant Behavior and Development*, 26, 64-86.

Gautier, I., Tarr, M. J., Anderson, A. W., Skudlarsky, P., & Gore, J. C. (1999). Activation of the middle fusiform gyrus "face area" with expertise in recognizing novel objects. *Nature Neuroscience*, 2, 568-573.

Gazzaniga, M. (1994). *Nature's mind.* New York: Basic Books.

Gerardi-Caulton, G. (2000). Sensitivity to spatial conflict and the development of self-regulation in children 24-36 months of age. *Developmental Science*, 3/4, 397-404.

Gerlai, R. (1996). Gene-targeting studies of mammalian behavior: Is it the mutation or the background genotype? *Trends in Neuroscience*, 19, 177-181.

Gernsbacher, M. A., & Robertson, R. R. W. (1995). Reading skill and suppression revisited. *Psychological Science*, 6, 165-169.

Gerstadt, C. L, Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: Performance of children 3 1/2-7 years old on a Strooplike day-night test. *Cognition*, 53, 129-153.

Gesell, A. (1928). *Infancy and human growth.* New York: Macmillan.

Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., et al. (1999). Brain development during childhood and adolescence: A longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 10, 861-863.

Goel, V., & Dolan, R. J. (2001). Functional neuroanatomy of three-term relational reasoning. *Neuropsychologia*, 39, 901-909.

Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S. (1998). Neuroanatomical correlates of human reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 293-302.

Goldapple, K., Segal, Z., Garson, C., Lau, M., Bieling, P., Kennedy, S., & Mayberg, H. (2004). Modulation of cortical-limbic pathways in major depression. Treatment-specific effects of cognitive behavior therapy. *Archives of General Psychiatry*, 61, 34-41.

Grafton, S. T., Hazeltine, E., & Ivry, R. (1995). Functional mapping of sequence learning in normal humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 497-510.

Grandy, D. K., & Kruzich, P. J. (2004). A molecular genetic approach to the neurobiology of attention utilizing dopamine receptor-deficient mice. In M. I. Posner (Ed.), *Cognitive neuroscience of attention* (pp. 260-268). New York: Guilford.

Gray, J. A. (1971). *The psychology of fear and stress.* New York: McGraw-Hill.

Gray, J. A. (1982). *The neuropsychology of anxiety: An enquiry into the functions of the septo-hippocampal system.* London: Oxford University Press.

Gray, J. A. (1991). The neuropsychology of temperament. In J. Strelau & A. Angleitner (Eds.), *Explorations in temperament: International perspectives on theory and measurement* (pp. 105-128). New York: Plenum Press.

Graziano, W. G. (1994). The development of agreeableness as a dimension of personality. In C. F. Halverson, Jr., G. A. Kohnstamm, & R. P. Martin (Eds.), *The developing structure of temperament and personality from infancy to adulthood* (pp. 339-354). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Graziano, W. G., & Eisenberg, N. (1997). Agreeableness: A dimension of personality. In R. Hogan, J. A. Johnson, & S. R. Briggs (Eds.), *Handbook of personality psychology* (pp. 795-824). San Diego, CA: Academic Press.

Graziano, W. G., & Tobin, R. M. (2002). Agreeableness: Dimension of personality or social desirability artifact? *Journal of Personality*, 70, 695-727.

Green, C. S. , & Bavelier, D. (2003, May 29). Action video game modifies selective attention. *Nature*, 423, 534-537.

Greenwood, P. M. , Sunderland, T. , Friz, J. L. , & Parasuraman, R. (2000). Genetics and visual attention: Selective deficits in healthy adult carriers of the epsilon 4 allele of the apolipoprotein E gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 97, 11661-11666.

Griffin, S. A. , Case, R. , & Siegler, R. S. (1995). Rightstart: Providing the central conceptual prerequisites for first formal learning of arithmetic to students at risk for school failure. In K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory* (pp. 25 - 50). Cambridge, MA: MIT Press.

Groen, G. J. , & Parkman, J. M. (1972). A chronometric analysis of simple addition. *Psychological Review*, 79, 329-343.

Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.

Gunderson, V. M. , & Swartz, K. B. (1986). Effects of familiarization time on visual recognition memory in infant pigtailed macaques. *Developmental Psychology*, 22, 477-480.

Gusnard, D. A. , Ollinger, J. M. , Shulman, G. L. , Cloninger, C. R. , Price, J. L. , Van Essen, D. C. , & Raichle, M. E. (2003). Persistence and brain circuitry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 100, 3479-3484.

Guttorm, T. K. , Leppanen, P. H. T. , Poikkeus, A. M. , Eklund, K. M. , Lyyti-nen, P. , & Lyytinen, H. (2005). Brain event-related potentials (ERPs) measured at birth predict later language development in children with and without familial risk for dyslexia. *Cortex*, 41, 291-303.

Gwaizda, J. , Bauer, J. , & Held, R. (1989). From visual acuity to hyperacuity: A 10-year update. *Canadian Journal of Psychology*, 43, 109-120.

Habib, R. , Nyberg, L. , & Tulving, E. (2003). Hemispheric asymmetries of memory: The HERA model revisited. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 241-245.

Haith, M. M. (1980). *Rules that babies look by: The organization of newborn visual acuity*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Haith, M. M. , Hazan, C. , & Goodman, G. S. (1988). Expectation and anticipation of dynamic visual events by 3.5-month-old babies. *Child Development*, 59, 467-469.

Harm, M. W. , & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the meanings of words in reading: Cooperative division of labor between visual and phonological pro-cesses. *Psychological Review*, 111, 662-720.

Harman, C. , Posner, M. I. , Rothbart, M. K. , & Thomas-Thrapp, L. (1994). Development of orienting to objects and locations in human infants. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 48, 301-318.

Harman, C. , Rothbart, M. K. , & Posner, M. I. (1997). Distress and attention interactions in early infancy. *Motivation and Emotion*, 21, 27–43.

Harter, S. (1974). Pleasure derived by children from cognitive challenge and mas-tery. *Child Development*, 45, 661–669.

Harter, S. (1978). Effectance motivation reconsidered: Toward a developmental model. *Human Motivation*, 21, 34–64.

Harter, S. (1980). The development of competence motivation in the mastery of cognitive and physical skills: Is there still a place for joy? In D. M. Landers (Ed.), *Psychology of motor behavior and sport* (pp. 3–20). Champaign, IL: Human Kinetics.

Harter, S. (1981). A new self-report scale of intrinsic versus extrinsic orientation in the classroom: Motivational and informational components. *Developmental psychology*, 17, 300–312.

Harter, S. (1998). The development of self-representations. In W. Damon (Series Ed.) & N. Eisenberg (Vol. Ed.), *Handbook of child psychology*: *Vol.* 3. *Social*, *emotional*, *and personality development* (5th ed. , pp. 553–617). New York: Wiley.

Harter, S. (1999). *The construction of the self*: *A developmental perspective*. New York: Guilford Press.

Hastings, N. B. , Tanapat, P. , & Gould, E. (2001). Neurogenesis in the adult mammalian brain. *Clinical Neuroscience Research*, 1, 175–182.

Hebb, D. O. (1949). *Organization of behavior*. New York: Wiley.

Heidrich, A. (1990). *Studies of working memory*. Unpublished manuscript, University of Oregon, Eugene.

Heinze, H. J. , Mangun, G. R. , Burchert, W. , Hinrichs, H. , Scholtz, M. , Muntel, T. F. , et al. (1994, December 8). Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. *Nature*, 372, 543–546.

Hubel, D. H. , & Wiesel, T. (1977) Functional architecture of macque monkey visual cortex. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*, *Biological Sciences*, 198, 1–59.

Hugdahl, K. , & Davidson, R. J. (Eds). (2002). The *asymmetrical brain*. Cambridge, MA: MIT Press.

Hunt, J. M. (1961). *Intelligence and experience*. Oxford, England: Ronald Press.

Huttenlocher, P. R. , & Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 387, 167–178.

Hwang, J. (1999). *Affect and sustained engagement in infancy*. Unpublished master's thesis, University of Oregon, Eugene.

Insel, T. R. (2003). Is social attachment an addictive disorder? *Physiology and Behavior*, 79, 351–357.

Institute of Child Health and Human Development. (2000). *Report of the National Reading Panel: Teaching children to read: An evidence-based assessment of the scientific research literature on reading and its implications for reading instruction* (NIH Publication No. 00 - 4769). Washington, DC: U. S. Government Printing Office.

James, W. (1890). *Principles of psychology* (Vol. 1). New York: Holt.

Johnson, M. H. (2002). The development of visual attention: A cognitive neuroscience perspective. In M. H. Johnson, Y. Munakata, & R. O. Gilmore (Eds.), *Brain development and cognition: A reader* (2nd ed., pp. 134-150). Oxford, England: Blackwell.

Johnson, M, H., & Morton, J. (1991). *Biology and cognitive development: The case of face recognition*. Oxford, England: Blackwell.

Johnson, M. H., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1991). Components of visual orienting in early infancy: Contingency learning, anticipatory looking and disengaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 335-344.

Jones, E. E. (1990). Constrained behavior and self-concept change. In J. M. Olson & M. P. Zanna (Eds.) *Self-inference processes: The Ontario Symposium* (pp. 69 - 86). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Jonse, L., Rothbart, M. K., & Posner, M. I. (2003). Development of inhibitory control in preschool children. *Developmental Science*, 6, 498-504.

Kagan, J. (1994). *Galen's prophecy: Temperament in human nature*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Karni, A., Meyer, G., Rey-Hipolito, C., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1998). The acquisition of skilled motor performance: Fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 95, 861-868.

Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (1990). *Kaufman Brief Intelligence Test manual*. Circle Pines, MN: American Guidance Service.

Keogh, B. K. (1982). Temperament: An individual difference of importance in intervention programs. *Topics in Early Childhood Special Education*, 2, 25-31.

Keogh, B. K. (1989). Applying temperament research to school. In G. Kohnstamm, J. Bates, & M. K. Rothbart (Eds.), *Temperament in childhood* (pp. 437 - 450). Chichester, England: Wiley.

Keogh, B. K. (2003). *Temperament in the classroom: Understanding individual differences*. Baltimore, MD: Paul H. Brookes.

Kieffer, B. L. (1999). Opioids: First lessons from knockout mice. *Trends in Pharmacological Sciences*, 20, 19-26.

Klein, R. M., & McMullen, P. (Eds.), (1999). *Converging methods for understanding read-*

ing and dyslexia (pp. 305–337). Cambridge, MA: MIT Press.

Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781–791.

Klingberg, T., Hedehus, M., Temple, E., Salz, T., Gabrieli, J. D. E., Moseley, M. E., & Poldrack, R. A. (2000). Microstructure of temporo-parietal white matter as a basis for reading ability: Evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron*, 25, 493–500.

Kochanska, G. (1991). Socialization and temperament in the development of guilt and conscience. *Child Development*, 62, 1379–1392.

Kochanska, G. (1995). Children's temperament, mothers' discipline, and security of attachment: Multiple pathways to emerging internalization. *Child Development*, 66, 597–615.

Kochanska, G., & Knaack, A. (2003). Effortful control as a personality characteristic of young children: Antecedents, correlates, and consequences. *Journal of Personality*, 71, 1087–1112.

Kochanaka, G., Murray, K. T., & Harlan, E. T. (2000). Effortful control in early childhood: Continuity and change, antecedents, and implications for social development. *Developmental psychology*, 36, 220–232.

Kochanska, G., Murray, K., jacques, T. Y., Koenig, A. L., & Vandegeest, K. A. (1996). Inhibitory control in young children and its role in emerging internalization. *Child Development*, 67, 490–507.

Koechlin, E., Naccache, L., Block, E., & Dehaene, S. (1999). Prime numbers: Exploring the modularity of numerical representations with masked and unmasked semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1882–1905.

Kook, H., Gupta, L., Molfese, D., & Fadem, K. C. (2005). Multi-stimuli, multi-channel data and decision fusion strategies for dyslexia prediction using neonatal ERPs. *Pattern Recognition*, 38, 2174–2184.

Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Kosslyn, S. M. (1996). *Image and brain: The resolution of the imagery debate.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Kosslyn, S. M., Ganis, G., & Thompson, W. L. (2001). Neural foundations of imagery. *Nature Reviews: Neuroscience*, 2, 635–642.

Kosslyn, S. M., & Thompson, W. L. (2000). Shared mechanisms in visual imagery and visual perception: Insights from cognitive neuroscience. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences* (pp. 975–985). Cambridge, MA: MIT Press.

Kremen, A. M., & Block, J. (1998). The roots of ego-control in young adulthood: Links with parenting in early childhood. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75, 1062–1075.

Krueger, R. F., Hicks, B. M., & McGue, M. (2001). Altruism and antisocial behavior: Independent tendencies, unique personality correlates, distinct etiologies. *Psychological Science*, 12, 397-402.

Kruglanski, A. W. (1978). Endogenous attribution and intrinsic motivation. In M. Lepper & D. Greene (Eds.), *The hidden costs of reward: New perspectives on the psychology of human motivation* (pp. 85-107). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Kuhl, J., & Kazen, M. (1999). Volitional facilitation of difficult intentions: Joint activation of intention memory and positive affect removes Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, 382-399.

Kuhl, P. K. (2000). A new view of language acquisition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 100, 1185-1187.

Kuhl, P. K., Tsao, F. M., & Liu, H. M. (2003). Foreign-language experience in infancy: Effects of short-term exposure and social interaction on phonetic learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 100, 9096-9101.

Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we livebby.* Chicago: University of Chicago Press.

Lane, R. D., Reiman, E. M., Axelrod, B., Yun, L. S., Holmes, A., & Schwartz, G. E. (1998). Neural correlates of levels of emotional awareness: Evidence of an interaction between emotion and attention in the anterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 525-535.

Lashley, K. S. (1929). *Brain mechanisms and intelligence*. Chicago: University of Chicago Press.

Lawrence, A. D., & Calder, A. J. (2004). Homologizing human emotions. In D. Evans & P. Cruse (Eds.), *Emotions, evolution, and rationality* (pp. 15-47). Oxford, England: Oxford University Press.

Lawrence, A. D., Calder, A. J., McGowan, S. W., & Grasby, P. M. (2002). Selective disruption of the recognition of facial expressions of anger. *NeuroReport*, 13, 881-884.

LeDoux, J. E. (1987). Emotion. In F. Plum (Ed.), *Handbook of physiology. Section 1: The nervous system. Vol. V, Part 1: Higher functions of the brain* (pp. 419-460). Bethesda, MD: American Physiological Society.

LeDoux, J. E. (1989). Cognitive-emotional interactions in the brain. *Cognition and Emotion*, 3, 267-289.

Lepper, M. R., Greene, D., & Nisbett, R. E. (1973). Undermining children's intrinsic interest with extrinsic reward: A test of the "overjustification" hypothesis. *Journal of personality and Social Psychology*, 28, 129-137.

Lillard, A. (2005). *Montessori: The science behind the genius.* New York: Oxford University

Press.

Lobe, C. G. , & Nagy, A. (1998). Conditional genome alteration in mice. *Bioessays*, 20, 200-208.

Loftus, E. F. , & Fathi, D. C. (1985). Retrieving multiple autobiographical memories. *Social Cognition*, 3, 280-295.

Luu, P. , Collins, P. , & Tucker, D. M. (2000). Mood, personality, and self-monitoring: Negative affect and emotionality in relation to frontal lobe mechanisms of error monitoring. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 43-60.

Marrocco, R. T. , & Davidson, M. C. (1998). Neurochemistry of attention. In R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 35-50). Cambridge, MA: MIT Press.

Martin, R. P. (1989). Activity level, distractibility, and persistence: Critical characteristics in early schooling. In G. A. Kohnstamm, J. E. Bates, & M. K. Rothbart (Eds.), *Temperament in childhood* (pp. 451-462). Chichester, England: Wiley.

Maurer, D. , & Lewis, T. L. (2001). Visual acuity: The role of visual input in inducing postnatal change. *Clinical Neuroscience Research 1*, 239-247.

Mauret, D. , & Maurer, C. (1988). *The world of the newborn.* New York: Basic Books.

McCandliss, B. D. , Beck, I. L. , Sandak, R. , & Perfetti, C. (2000). Focusing attention on decoding for children with poor reading skill. *Scientific Studies of Reading*, 7, 75-104.

McCandliss, B. D. , Cohen, L. , & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: Expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 293-299.

McCandliss, B. D. , Posner, M. I. , & Givon, T. (1997). Brain plasticity in learning visual words. *Cognitive Psychology*, 33, 88-110.

Meck, W. H. , & Church, R. M. (1983). A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 9, 320-334.

Meltzoff, A. N. , & Borton, R. W. (1979, November 26). Intermodal matching by human neonates. *Nature*, 282, 403-404.

Merzenich, M. M. , & Jenkins, W. M. (1995). Cortical plasticity, learning, and learning dysfunction. In B. Julesz & I. Kovacs (Eds.), *Maturation windows and adult cortical plasticity* (pp. 247-272). New York: Addison Wesley.

Milberg, W. , Blumstein, S. , Katz, D. , Gershberg, R. , & Brown, T. (1995). Semantic facilitation in aphasia: Effects of time and expectancy. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 667-682.

Mills, D. , & Mills, C. (2000). *Hungarian kindergarten curriculum translation.* London: Mills Production.

Mischel, W. , Shoda, Y. , & Peake, P. K. (1988). The nature of adolescent competencies predicted by preschool delay of gratification. *Journal of personality and Social Psychology*, 54,

687-696.

Molfese, D. L. (2000). Predicting dyslexia at 8 years of age using neonatal brain responses. *Brain and Language*, 72, 238-245.

Montessori, M. (1965). *Spontaneous activity in education: The advanced Montessori method* (F. Simmonds, Trans.). New York: Schocken. (Original work published 1917)

Morgan, G. A., Harmon, R. J., & Maslin-Cole, P. M. (1990). Mastery motivation: Its definition and measurement. *Early Education and Development*, 1, 318-339.

Nagy, Z., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Maturation of white matter is associated with the development of cognitive functions during childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1227-1233.

Neely, J. H. (1977). Semantic priming and retrieval from lexical memory: Role of inhibitionless spreading activation and limited capacity attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 106, 226-254.

Neville, H. J. (1995). Developmental specificity in neurocognitive development in humans. In M. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 219-231). Cambridge, MA: MIT Press.

Newbury, D. F., Bishop, D. V. M., & Monaco, A. P. (2005). Genetic influences on language impairment and phonological short-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 528-534.

Newell, A., Shaw, J. C., & Simon, H. A. (1958). Elements of a theory of human problem solving. *Psychological Review*, 65, 151-166.

Nicholls, J. G. (1984). Conceptions of ability and achievement motivation. In R. E. Ames & C. Ames (Ed.), *Research on motivation in education: Vol. 1. Student motivation* (pp. 39-73). New York: Academic Press.

Nikolaev, A. R., Ivanitsky, G. A., Ivanitsky, A. M., Abdullaev, Y. G., & Posner, M. I. (2001). Short-term correlation between frontal and Wernicke's areas in word association. *Neuroscience Letters*, 298, 107-110.

Nimchinsky, E. A., Gilissen, E., Allman, J. M., Perl, D. P., Erwin, J. M., & Hof, P. R. (1999). A neuronal morphologic type unique to humans and great apes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 96, 5268-5273.

Nishijo, H., Ono, T., & Nishino, H. (1988). Single neuron responses in amygdala of alert monkey during complex sensory stimulation with affective significance. *Journal of Neuroscience*, 8, 3570-3583.

Nobre, A. C., Allison, T., & McCarthy, G. (1994, November 17). Word recognition in the inferior temporal cortex. *Nature*, 372, 260-263.

Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of

behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self regulation. New York: Plenum Press.*

Ochsner, K. N., Bunge, S. A., Gross, J. J., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Rethinking feelings: An fMRI study of the cognitive regulation of emotion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 1215-1229.

Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7, 75-79.

Olson, S. L., Bates, J. E., Sandy, J. M., & Schilling, E. M. (2002) Early developmental precursors of impulsive and inattentive behavior: From infancy to middle childhood. *Journal of Child Psychology and psychiatry and Allied Disciplines*, 43, 435-448.

Panksepp, J. (1982). Toward a general psychobiological theory of emotions. *Behavioral and Brain Sciences*, 5, 407-467.

Panksepp, J. (1986). The psychobiology of prosocial behaviors: Separation distress, play and altruism. In C. Zahn-Waxler, E. M. Cummings, & R. Iannotti (Eds.), *Altruism and aggression: Biological and social origins* (pp. 19-57). New York: Cambridge University Press.

Panksepp, J. (1993). Neurochemical control of moods and emotions: Amino acids to neuropeptides. In M. Lewis & J. M. Haviland (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 87-107). New York: Guilford Press.

Panksepp, J. (1998). *Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions.* New York: Oxford University Press.

Parasuraman, R., & Greenwood, P. M. (1998). Selective attention in aging and dementia. In R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 461-488). Cambridge, MA: MIT Press.

Parasuraman, R., Greenwood, P. M., Kumar, R. & Fossella, J. (2005). Beyond heritability: Neurotransmitter genes differentially modulate visuospatial attention and working memory. *Psychological Science*, 16, 200-207.

Parker, J. G., & Asher, S. R. (1987). Peer relations and later personal adjustment: Are low-accepted children at risk? *Psychological Bulletin*, 102, 357-389.

Pascual-Leone, A., & Hamilton, R. (2001). The metamodal organization of the brain. *Progress in Brain Research*, 134, 427-445.

Patterson, G. R. (1980). *Mothers: The unacknowledged victims. Monographs of the Society for Research in Child Development*, 45 (5, Serial No. 186).

Paulesu, E., Demonet, J.-F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., et al. (2001, March 16). Dyslexia: Cultural diversity and biological unity. *Science*, 291, 2165-2167.

Petersen, S. E., Fox, P. T., Posner, M. I., Mintun, M., & Raichle, M. E. (1989). Positron emission tomographic studies of the processing of single words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, 153-170.

Pfaff, D. W. (1999). *Drive: Neurobiological and molecular mechanisms of sexual motivation.* Cambridge, MA: MIT Press.

Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children.* New York: International Universities Press. (Original Work published 1936)

Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., LeBihan, D., & Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron*, 44, 547-555.

Pinel, P., Dehaene, S., Riviere, D., & LeBihan, D. (2001). Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *NeuroImage*, 14, 1013-1026.

Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63, 167-199.

Pliszka, S. R. (1989). Effect of anxiety on cognition, behavior, and stimulant response in ADHD. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 28, 882-887.

Polk, T. A., & Farah, M. J. (1998). The neural development and organization of letter recognition, computation modeling and behavioral studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 95, 765-772.

Polk, T. A., Stallcup, M., Aguirre, G. K., Alsop, D. C., D'Esposito, M., Detre, J. A., & Farah, M. J. (2002). Neural specialization for letter recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 145-159.

Posner, M. I. (1978). *Chronometric explorations of mind.* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Posner, M. I. (2003). Imaging a science of mind. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 450-453.

Posner, M. I. (2004). Neural systems and individual differences. *Teachers College Record*, 106, 24-30.

Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of attention. In H. Bouma & D. Bowhuis (Eds.), *Attention and performance X: Control of language processes* (pp. 531-556). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Posner, M. I., & McCandliss, B. D. (1999). Brain circuitry during reading. In R. Klein & P. McMullen (Eds.), *Converging methods for understanding reading and dyslexia* (pp. 305-337). Cambridge: MIT Press.

Posner, M. I., & Pavese, A. (1998). Anatomy of word and sentence meaning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 95, 899-905.

Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.

Posner, M. I. , & Raichle, M. E. (1994). *Images of mind.* New York: Scientific American Books.

Posner, M. I. , & Raichle, M. E. (Eds.). (1998). Overview: The neuroimaging of human brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 95, 763-764.

Posner, M. I. , & Rothbart, M. K. (1991). Attentional mechanisms and conscious experience. In M. Rugg & A. D. Milner (Eds.), *The neuropsychology of consciousness* (pp. 91 - 112). London: Academic Press.

Posner, M. I. , & Rothbart, M. K. (1998). Attention, self regulation and consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 353, 1915-1927.

Posner, M I. , & Rothbart, M. K. (2000). Developing mechanisms of self-regulation. *Development and Psychopathology*, 12, 427-441.

Posner, M. I. , Rothbart, M. K. , & DiGirolamo, G. J. (1999). Development of brain networks for orienting to novelty. *Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, 49, 715-722.

Posner, M. I. , Rothbart, M. K. , Thomas-Thrapp, L. , & Gerardi, G. (1998). Development of orienting to locations and objects. In R. Wright (Ed.), *Visual attention* (pp. 269-288). New York: Oxford University Press.

Premack, D. , & Premack, A. (2003). *Original intelligence.* New York: McGraw Hill.

Price, C. J. , Moore, C. J. , & Friston, K. J. (1997). Subtractions, conjunctions, and interactions in experimental design of activation studies. *Human Brain Mapping*, 4, 264-267.

Price, C. J. , Winterburn, D. , Giraud, A. L. , Moore, C. J. , & Noppeney, U. (2003). Cortical localisation of the visual and auditory word form areas: A reconsideration of the evidence. *Brain and Language*, 86, 272-286.

Pullis, M. (1985). Students' temperament characteristics and their impact on decisions by resource and mainstream teachers. *Learning Disability Quarterly*, 8, 109-122.

Quartz, S. , & Sejnowski, T. (2000). Constraining constructivism: Cortical and subcortical constraints on learning in development. *Behavioral and Brain Sciences*, 23, 785-792.

Rafal, R. , Calabresi, P. , Brennan, C. , & Sciolto, T. (1989). Saccade preparation prohibits reorienting to recently attended locations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 673-685.

Raichle, M. E. , Fiez, J. A. , Videen, T. O. , McCleod, A. M. K. , Pardo, J. V. , Fox, P. T. , & Petersen, S. E. (1994). Practice-related changes in the human brain: Functional anatomy during nonmotor learning. *Cerebral Cortex*, 4, 8-26.

Rainville, P. , Duncan, G. H. , Price, D. D. , Carrier, B. , & Bushnell, M. C. (1997, August 15). Pain affect encoded in human anterior cingulate but not somatosensory cortex. *Science*, 277, 968-970.

Rakic, P., Bourgeois, J. P., Eckenhoff, M. F., Zecevic, N., & Goldman-Rakic, P. S. (1986, April 11). Concurrent overproduction of synapses in diverse regions of the primate cerebral cortex. *Science*, 232, 232–235.

Ravitch, D. (2000). *Left back: A century of failed school reforms.* New York: Simon & Schuster.

Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Reed, M. A., & Derryberry, D. (1995). Temperament and attention to positive and negative trait information. *Personality and Individual Differences*, 18, 135–147.

Reed, M., Pien, D., & Rothbart, M. K. (1984). Inhibitory self-control in preschool children. *Merrill-Palmer Quarterly*, 30, 131–148.

Reiss, A. L., Abrams, M. T., Singer, H. S., Ross, J. L., & Denckla, M. B. (1996). Brain development, gender and IQ in children. A volumetric imaging study. *Brain*, 119, 1763–1774.

Ro, T., Farné, A., & Chang, E. (2003). Inhibition of return and the human frontal eye fields. *Experimental Brain Research*, 150, 290–296.

Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnsen, D. M., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 7, 192–233.

Rothbart, M. K. (1988). Temperament and the development of inhibited approach. *Child Development*, 59, 1241–1250.

Rothbart, M. K. (1989a). Biological processes of temperament. In G. Kohnstamm, J. Bates, & M. K. Rothbart (Eds.), *Temperament in childhood* (pp. 77–110). Chichester, England: Wiley.

Rothbart, M. K. (1989b). Temperament and development. In G. A. Kohnstamm, J. E. Bates, & M. K. Rothbart (Eds.), *Temperament in childhood* (pp. 187–247). Chichester, England: Wiley.

Rothbart, M. K., Ahadi, S. A., & Hershey, K. L. (1994). Temperament and social behavior in childhood. *Merrill-Palmer Quarterly*, 40, 21–39.

Rothbart, M. K., Ahadi, S. A., Hershey, K. L., & Fisher, P. (2001). Investigations of temperament at three to seven years: The Children's Behavior Questionnaire. *Child Development*, 72, 1394–1408.

Rothbart, M. K., & Bates, J. E. (2006). Temperament in children's development. In W. Damon & R. Lerner (Series Eds.) & N. Eisenberg (Vol. Ed.), *Handbook of child psychology: Vol. 3. Social, emotional, and personality development* (6th ed., pp. 99–166). New York: Wiley.

Rothbart, M. K., & Derryberry, D. (1981). Development of individual differences in tempera-

ment. In M. E. Lamb & A. L. Brown (Eds.), *Advances in developmental psychology* (Vol. 1, pp. 37–86). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Rothbart, M. K., & Derryberry, D. (2002). Temperament in children. In C. von Hofsten & L. Bäckman (Eds.), *Psychology at the turn of the millennium: Vol. 2. Social, developmental, and clinical perspectives* (pp. 17–35). East Sussex, England: Psychology Press.

Rothbart, M. K., Derryberry, D., & Hershey, K. (2000). Stability of temperament in childhood: Laboratory infant assessment to parent report at seven years. In V. J. Molfese & D. L. Molfese (Eds.), *Temperament and personality development across the life span* (pp. 85–119). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Rothbart, M. K., Derryberry, D., & Posner, M. I. (1994). A psychobiological approach to the development of temperament. In J. E. Bates & T. D. Wachs (Eds.), *Temperament: Individual differences at the interface of biology and behavior* (pp. 83–116). Washington, DC: American Psychological Association.

Rothbart, M. K., Ellis, L. K., Rueda, M. R., & Posner, M. I. (2003). Developing mechanisms of effortful control. *Journal of Personality*, 71, 1113–1143.

Rothbart, M. K., Hershey, K., & Posner, M. I. (1995). Temperament, attention and developmental psychopathology. In D. Cicchetti & D. Cohen (Eds.), *Manual of developmental psychopathology* (pp. 315–340). New York: Wiley.

Rothbart, M. K., & Hwang, J. (2005). Temperament and the development of competence and motivation. In A. J. Elliot & C. S. Dweck (Eds.), *Handbook of competence and motivation* (pp. 167–184). New York: Guilford Press.

Rothbart, M. K., & Jones, L. B. (1998). Temperament, self regulation, and education. *School Psychology Review*, 27, 479–491.

Rothbart, M. K., & Jones, L. B. (1999). Temperament: Developmental perspectives. In R. Gallimore, C. Bernheimer, D. MacMillan, D. Speece, & S. Vaughn (Eds.), *Developmental perspectives on children with high incidence disabilities: Papers in honor of Barbara Keogh* (pp. 33–54). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Rothbart, M. K., & Mauro, J. A. (1990). Questionnaire approaches to the study of infant temperament. In J. W. Fagen & J. Colombo (Eds.), *Individual differences in infancy: Reliability, stability and prediction* (pp. 411–429). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Rothbart, M. K., & Posner, M. I. (2006). Temperament, attention and developmental psychopathology. In D. Cicchetti & D. J. Cohen (Eds.), *Handbook of developmental psychopathology* (pp. 465–500). New York: Wiley.

Rothbart, M. K., Posner, M. I., & Kieras, J. (2006). Temperament, attention, and the development of self-regulation. In K. McCartney & D. Phillips (Eds.), *The Blackwell handbook of early child development* (pp. 328–357). London: Black-well Press.

Rothbart, M. K. , & Rueda, M. R. (2005). The development of effortful control. In U. Mayr, E. Awh, & S. W. Keele (Eds.), *Developing individuality in the human brain: A tribute to Michael I. Posner* (pp. 167–188). Washington, DC: American Psychological Association.

Rothbart, M. K. , & Sheese, B. (in press). Temperament and emotion regulation. In J. J. Gross (Ed.), *Handbook of emotion regulation.* New York: Guilford Press.

Rothbart, M. K. , Ziaie, H. , & O'Boyle, C. G. (1992). Self-regulation and emotion in infancy. *New Directions in Child Development*, 55, 7–23.

Rueda, M. R. , Fan, J. , Halparin, J. , Gruber, D. , Lercari, L. P. , McCandliss, B. D. , & Posner, M. I. (2004). Development of attention during childhood. *Neuropsychologia*, 42, 1029–1040.

Rueda, M. R. , Posner, M. I. , Rothbart, M. K. , & Davis-Stober, C. P. (2004). Development of the time course for processing conflict: An event-related potentials study with 4 year olds and adults. *BMC Neuroscience*, 5, 39.

Rueda, M. R. , Rothbart, M. K. , McCandliss, B. D. , Saccamanno, L. , & Posner, M. I. (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 102, 14931–14936.

Ruff, H. A. , & Rothbart, M. K. (1996). *Attention in early development: Themes and variations.* New York: Oxford University Press.

Rumbaugh, D. M. , & Washburn, D. A. (1995). Attention and memory in relation to learning: A comparative adaptation perspective. In G. R. Lyon & N. A. Krasnegor (Eds.), *Attention, memory and executive function* (pp. 199–219). Baltimore: Brookes Publishing.

Ryan, R. M. , Connell, J. P. , & Grolnick, W. S. (1992). When achievement is not intrinsically motivated: A theory of internalization and self-regulation in school. In A. K. Boggiano & T. S. Pittman (Eds.), *Achievement and motivation: A social-developmental perspective. Cambridge studies in social and emotional development* (pp. 167–188). New York: Cambridge University Press.

Sanders, A. F. , & Schroots, J. J. F. (1968). Cognitive categories and memory span Ⅱ: The effect of temporal vs. categorical recall. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 273–279.

Sapir, A. , Soroker, N. , Berger, A. , & Henik, A. (1999). Inhibition of return in spatial attention: Direct evidence for collicular generation. *Nature Neuroscience*, 2, 1053–1054.

Schacter, D. (1987). Implicit memory: History and current status. *Journal of Experimental Psychology: Language, Memory and Cognition*, 113, 501–518.

Scherg, M. , & Berg, P. (1993). Brain Electrical Source Analysis (Version 2.0) [Computer software]. Herndon, VA: Neuroscan.

Schiefele, A. , Krapp, A. , & Winteler, A. (1992). Interest as a predictor of academic a-

chievement: A meta-analysis of research. In K. A. Renninger, S. Hidi, & A. Krapp (Eds.), *The role of interest in learning and development* (pp. 183-212). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Schumacher, E. H., Lauber, E., Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., & Koeppe, R. A. (1996). PET evidence for an amodal verbal working memory system. *NeuroImage*, 3, 79-88.

Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96, 523-568.

Sethi, A., Mischel, W., Aber, L., Shoda, Y., & Rodriguez, M. (2000). The role of strategic attention development in development of self-regulation: Predicting preschoolers' delay of gratification from mother-toddler interactions. *Developmental Psychology*, 36, 767-777.

Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22, 261-273.

Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Blachman, B. A., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., et al. (2004). Development of left occipitotemporal systems for skilled reading in children after a phonologically-based intervention. *Biological Psychiatry*, 55, 926-933.

Shaywitz, S. E. (2003). *Overcoming dyslexia.* New York: Knopf.

Shiner, R. L. (1998). How shall we speak of children's personalities in middle childhood? A preliminary taxonomy. *Psychological Bulletin*, 124, 308-332.

Shiner, R. L. (2000). Linking childhood personality with adaptation: Evidence for continuity and change across time into late adolescence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78, 310-325.

Shiner, R., & Caspi, A. (2003). Personality differences in childhood and adolescence: Measurement, development, and consequences. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 44, 2-32.

Shirley, M. M. (1933). *The first two years: A study of 25 babies.* Minneapolis: University of Minnesota Press.

Shoda, Y., Mischel, W., & Peake, P. K. (1990). Predicting adolescent cognitive and self-regulatory competencies from preschool delay of gratification: Identifying diagnostic conditions. *Developmental Psychology*, 26, 978-986.

Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking.* New York: Oxford University Press.

Sieroff, E., & Posner, M. I. (1988). Cueing spatial attention during processing of words and letter strings in normals. *Cognitive Neuropsychology*, 5, 451-472.

Simon, H. A. (1969). *The sciences of the artificial.* Cambridge, MA: MIT Press.

Simon, T. J., Bish, J. P., Bearden, C. E., Ding, L., Ferrante, S., Nguyen, V., et al. (2005). A multi-level analysis of cognitive dysfunction and psychopathology associated with chromosome 22q11.2 deletion syndrome in children. *Development and Psychopathology*, 17, 753–784.

Skinner, B. F. (1968). *The technology of teaching.* New York: Appleton-Century-Crofts.

Slater, A. (1995). Individual differences in infancy and later IQ. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 36, 69–112.

Smeets, W. J. A. J., & González, A. (2000). Catecholamine systems in the brain of vertebrates: New perspectives through a comparative approach. *Brain Research Reviews*, 33, 308–379.

Smith, E. E., Jonides, J., Marshuetz, C., & Koeppe, R. A. (1998). Components of verbal working memory: Evidence from neuroimaging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 95, 876–882.

Snyder, C. R., & Higgins, R. L. (1988). Excuses: Their effective role in the negotiation of reality. *Psychological Bulletin*, 104, 23–35.

Snyder, J. A. (1977). A reinforcement analysis of interaction in problem and nonproblem children. *Journal of Abnormal Psychology*, 86, 528–535.

Sobin, C., Kiley-Brabeck, K., Daniels, S., Blundell, M., Anyane-Yeboa, K., & Karayiorgou, M. (2004). Networks of attention in children with the 22q11 deletion syndrome. *Developmental Neuropsychology*, 26, 611–626.

Sohlberg, M. M., & Mateer, C. A. (1989). *Cognitive rehabilitation: Introduction to theory and practice.* New York: Guilford Press.

Sohlberg, M. M., McLaughlin, K. A., Pavese, A., Heidrich, A., & Posner, M. I. (2000). Evaluation of attention process therapy training in persons with acquired brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22, 656–676.

Spangler, G. (1989). Toddlers' everyday experiences as related to preceding mental and emotional disposition and their relationship to subsequent mental and motivational development: A short-term longitudinal study. *International Journal of Behavioral Development*, 12, 285–303.

Spearman, C. E. (1904). General intelligence objectively determined and measured. *American Journal of Psychology*, 15, 201–293.

Spelke, E. (2004). Core knowledge. In N. Kanwisher & J. Duncan (Eds.), *Attention and performance XX: Functional neuroimaging of visual cognition* (pp. 29–56). Oxford, England: Oxford University Press.

Spitzer, M., Kischka, U., Guckel, F., Bellemann, M. E., Kammer, T., Seyyedi, S., et al. (1998). Functional magnetic resonance imaging of category-specific cortical activation:

Evidence for semantic maps. *Cognitive Brain Research*, 6, 309-319.

Spoont, M. R. (1992). Modulatory role of serotonin in neural information processing: Implications for human psychopathology. *Psychological Bulletin*, 112, 330-350.

Sprengelmeyer, R., Young, A. W., Schroeder, U., Grossenbacher, P. G., Federlein, J., Buettner, T., & Pzuntek, H. (1999). Knowing no fear. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 266, 2451-2456.

Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: A synthesis from studies of rats, monkeys and humans. *Psychological Review*, 99, 195-231.

Squire, L. R., Ojemann, J. G., Miezin, F. M., Petersen, S. E., Videen, T. O., & Raichle, M. E. (1992). Activation of the hippocampus in normal humans: A functional anatomical study of memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 89, 1837-1841.

Srinivasan, R. (1999). Spatial structure of the human alpha rhythm: Global correlation in adults and local correlation in children. *Clinical Neurophysiology*, 110, 1351-1362.

Stanovich, K. E., Cunningham, A. E., & Cramer, B. (1984). Assessing phonological awareness in kindergarten children: Issues of task comparability. *Journal of Experimental Psychology*, 38, 175-190.

Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages. *Acta Psychologica*, 30, 276-315.

Sternberg, S. (2004). Separate modifiability and the search for processing modules. In N. Kanwisher & J. Duncan (Eds.), *Attention and performance XX: Functional brain imaging of visual cognition* (pp. 125-139). Oxford, England: Oxford University Press.

Stifter, C. A., & Braungart, J. M. (1995). The regulation of negative reactivity in infancy: Function and development. *Developmental Psychology*, 31, 448-455.

Swanson, J., Deutsch, C., Cantwell, D., Posner, M. I., Kennedy, J., Barr, C., et al. (2001). Genes and attention-deficit hyperactivity disorder. *Clinical Neuroscience Research*, 1, 207-216.

Swanson, J., Oosterlaan, J., Murias, M., Moyzis, R., Schuck, S., Mann, M., et al. (2000). ADHD children with 7-repeat allele of the DRD4 gene have extreme behavior but normal performance on critical neuropsychological tests of attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 97, 4754-4759.

Swanson, J. M., Posner, M. I., Potkin, S., Bonforte, S., Youpa, D., Cantwell, D., & Crinella, F. (1991). Activating tasks for the study of visual-spatial attention in ADHD children: A cognitive anatomical approach. *Journal of Child Neurology*, 6, S119-S127.

Tanaka, J. W., & Curran, T. (2001). A neural basis for expert object recognition. *Psychological Science*, 12, 43-47.

Tanaka, J. W., & Taylor, M. (1991). Object categories and expertise: Is the basic level in

the eye of the beholder? *Cognitive Psychology*, 23, 457–482.

Tarkiainen, A., Helenius, P., Hansen, P. C., Cornelissen, P. L., & Salmelin, R. (1999). Dynamics of letter string perception in the human occipitotemporal cortex. *Brain*, 122, 2119–2132.

Teglasi, H., & Epstein, S. (1998). Temperament and personality theory: The perspective of cognitive-experiential self-theory. *School Psychology Review*, 27, 534–550.

Tellegen, A. (1985). Structures of mood and personality and their relevance to assessing anxiety, with an emphasis on self-report. In A. H. Tuma & J. D. Maser (Eds.), *Anxiety and the anxiety disorders* (pp. 681–706). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A., Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. E. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 100, 2860–2865.

Temple, E., & Posner, M. I. (1998). Brain mechanisms of quantity are similar in 5-year-olds and adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 95, 7836–7841.

Terrace, H. S. (1963). Discrimination learning with and without "errors." *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 6, 1–27.

Thomas, A., & Chess, S. (1977). *Temperament and development.* New York: Brunner/Mazel.

Thomas, A., Chess, S., Birch, H. G., Hertzig, M. E., & Korn, S. (1963). *Behavioral individuality in early childhood.* New York: New York University Press.

Thomas, K. M., & Nelson, C. A. (2001). Serial reaction time learning in preschool and school-age children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79, 364–387.

Thorndike, E. L., & Woodworth, R. S. (1901). The influence of one mental function upon the efficiency of other functions. *Psychological Review*, 8, 247–261.

Thurstone, L. L. (1924). *The nature of intelligence.* New York: Harcourt Brace.

Toga, A. W., & Mazziotta, J. C. (Eds.). (1997). *Brain mapping: The methods.* New York: Academic Press.

Tyler, L. E. (1976). The intelligence test An evolving concept. In L. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence* (pp. 13–26). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Tzelgov, J., Meyer, J., & Henik, A. (1992). Automatic and intentional processing of numerical information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 166–179.

Ungerleider, L. G. (1995, November 3). Functional brain imaging studies of cortical mechanisms for memory. *Science*, 270, 769–775.

Uttal, W. R. (2001). *The new phrenology.* Cambridge, MA: MIT Press.

Valenza, E., Simion, F., & Umilta, C. (1994). Inhibition of return in newborn infants. *In-*

fant Behavior and Development, 17, 293–302.

van Veen, V., & Carter, C. S. (2002). The timing of action-monitoring processes in the anterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 593–602.

Vasey, M. W., Daleiden, E. L., Williams, L. L., & Brown, L. M. (1995). Biased attention in childhood anxiety disorders: A preliminary study. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 23, 267–279.

Venter, J. C., Adams, M. D., Myers, E. W., Li, P. W., Mural, R. J., Sutton, G. G., et al. (2001, February 16). The sequence of the human genome. *Science*, 291, 1304–1335.

Vernon, P. E. (1961). Intelligence and attainment. New York: Philosophical Library.

Victor, J. B., Rothbart, M. K., & Baker, S. R. (2005). *Integrating child temperament and personality in the Child Temperament and Personality Questionnaire.* Manuscript submitted for publication.

Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004, April 15). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428, 748–751.

Voytko, M. L., Olton, D. S., Richardson, R. T., Gorman, L. K., Tobin, J. R., & Price, D. L. (1994). Basal forebrain lesions in monkeys disrupt attention but not learning and memory. *Journal of Neuroscience*, 14, 167–186.

Wahlsten, D. (1999). Single-gene influences on brain and behavior. *Annual Review of Psychology*, 50, 599–624.

Wang, K. J., Fan, J., Dong, Y., Wang, C., Lee, T. M. C., & Posner, M. I. (2005). Selective impairment of attentional networks of orienting and executive control in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 78, 235–241.

Washburn, D. A. (1994). Stroop-like effects for monkeys and humans: Processing speed or strength of association? *Journal of Psychological Science*, 5, 375–379.

Watson, D., & Clark, L. A. (1992). On traits and temperament: General and specific factors of emotional experience and their relation to the five-factor model. *Journal of Personality*, 60, 441–476.

Werker, J. F., & Yeung, H. H. (2005). Infant speech perception bootstraps word learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 519–527.

Whalen, J., Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1999). Nonverbal counting in humans: The psychophysics of number representation. *Psychological Science*, 10, 130–137.

Wilson, A. J., Dehaene, S., Rivkin, S. K., Cohen, L., & Cohen, D. (2006). *Design and testing of adaptive remediation software for dyscalculia.* Manuscript submitted for publication.

Winkelman, J., & Schmidt, J. (1974). Associative confusions in mental arithmetic. *Journal*

of Experimental Psychology, 102, 734–737.

Wurtz, R. H., Goldberg, E., & Robinson, D. L. (1980). Behavioral modulation of visual responses in the monkey: Stimulus selection for attention and movement. *Progress in Psychobiology and Physiological Psychology*, 9, 43–83.

Wynn, K. (1992, August 27). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749–750.

Young, L. J., Nilsen, R., Waymire, K. G., MacGregor, G. R., & Insel, T. R. (1999, August 19). Increased affiliative response to vasopressin in mice expressing the V (1A) receptor from a monogamous vole. *Nature*, 400, 766–768.

Zuckerman, M. (1984). Sensation seeking: A comparative approach to a human trait. *Behavioral and Brain Sciences*, 7, 413–471.

Zuckerman, M. (1991). *Psychobiology of personality*. New York: Cambridge University Press.

Zuckerman, M. (1995). Good and bad humors: Biochemical bases of personality and its disorders. *Psychological Science*, 6, 325–332.

主题索引*

* 索引中页码系原书页码，即本书边码。

译后记

本书由著名的认知神经科学大师迈克尔·I. 波斯纳和玛丽·K. 罗特巴特所著。他们以专业研究者严谨科学的态度与清晰的表达方式，为我们勾勒出人类认知与情感发展的研究状况；阐述了婴幼儿注意与自我调节机制的发展；描述了语言、阅读、计算等加工过程的神经机制以及遗传与环境对神经机制的影响。本书强调指出，脑科学的知识能够对学校的教育发挥重要的作用。正如建筑工程师要综合考虑建筑材料的性能、建筑所处位置等多种因素之间的相互关系来设计建筑，教育研究者、课程设计者甚至家长也要基于人类大脑思维的本质与儿童独特的个性特征来设计教育方案。这种教育设计的创新性并不亚于桥梁设计的创新性。

本书提供了一个新的视角来了解学生如何掌握学校的学科知识。语言、阅读和数学的学习能力依赖于这些学科所涉及的特定神经网络以及注意的神经网络，这些网络在儿童上学之前已经得到初步的发展。因此，教育应该从婴儿开始抓起，同时要把家庭教育和学校教育结合起来，通过学校中正规的学科学习来影响神经网络的发展。本书将神经科学、认知科学结合起来，从社会环境与个体差异的角度来透视人类行为发展的本质，向读者准确地展示了与学习有关的脑与认知科学的研究成果。本书适合对脑与认知科学研究的最新进展感兴趣的教育神经科学研究者、神经科学研究者、发展与教育心理学研究者以及教育研究者阅读。

本书的翻译是集体智慧的结晶。各章分工如下：前言，李真、王程；总论，周加仙；第一章，李真、王程；第二章，李真、王程；第三章，周加仙、柳恒爽；第四章，王程、周加仙；第五章，姚茹、李真；第六章，王程、周加仙；第七章，杨琴、李真；第八章，李真、王程；第九章，王程、周加仙；第十章，杨琴、李真。最后由周加仙老师对全书进行了认真系统地校对、修改、

统稿，董奇教授审定全文。感谢教育科学出版社对本书出版工作的大力支持。

虽然我们对本书进行了认真地翻译与校译，但是由于本书涉及多个学科的研究，内容非常丰富，错误之处还望读者批评指正。

周加仙
华东师范大学心理与认知科学学院
2010 年 12 月 16 日

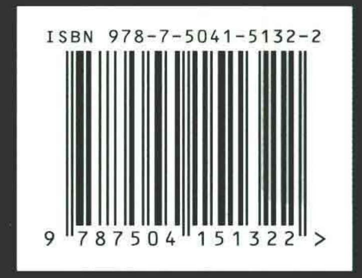
EDUCATING THE HUMAIN BRAIN

本书总结了最近几十年来有关人类认知与情绪发展过程的研究；阐述了婴幼儿注意与自我调节机制的发展；详细描述了语言、阅读、计算等加工过程的神经机制以及遗传与环境对神经机制的影响。本书将神经科学和认知科学结合起来，从社会环境与个体差异的角度来透视人类行为发展的本质，以专业研究者严谨科学的态度和清晰的表达方式，向读者准确地展示了与学习有关的脑与认知科学研究成果。本书指出，脑与认知科学的知识能够对学校的教育发挥重要的作用。正如建筑工程师要综合考虑建筑材料的性能、建筑所处位置等多种因素之间的相互关系来设计建筑物，教育研究者、课程设计者甚至家长也要基于人类脑思维的本质与儿童独特的个性特征来设计教育方案，这种教育设计的创新性并不亚于桥梁设计的创新性。本书适合对脑与认知科学的最新研究进展感兴趣的教育神经科学研究者、神经科学研究者、发展与教育心理学研究者以及教育研究者阅读。

迈克尔·I.波斯纳博士是俄勒冈大学退休教授，纽约康奈尔大学威尔医学院神经病学兼职教授。波斯纳博士以他与马库斯·E.雷切尔（Marcus E.Raichle）的有关认知任务的脑成像研究而著称。他的研究领域涉及三个注意网络（即警觉、感觉事件的定向、思维与观念的自主控制）的解剖结构、神经回路、发展与遗传研究。他测量这些神经网络的方法被广泛运用于神经科学、精神病学与发展障碍的研究中。自从1980年以来，他与玛丽·K.罗特巴特合作，研究特定经验和基因与注意网络的发展与效能之间的交互作用。

玛丽·K.罗特巴特博士是俄勒冈大学退休教授。25年来她一直研究气质、情绪和社会发展。她与迈克尔·I.波斯纳博士合作，研究注意的发展及其与意志中的努力控制之间的关系。她通过俄勒冈的0-3岁组织积极支持教育以及新生儿家长的培训。2007年，该组织授予她“儿童的捍卫者”荣誉称号。

定价：38.00元


ISBN 978-7-5041-5132-2

责任编辑：周益群
封面设计：徐丛巍